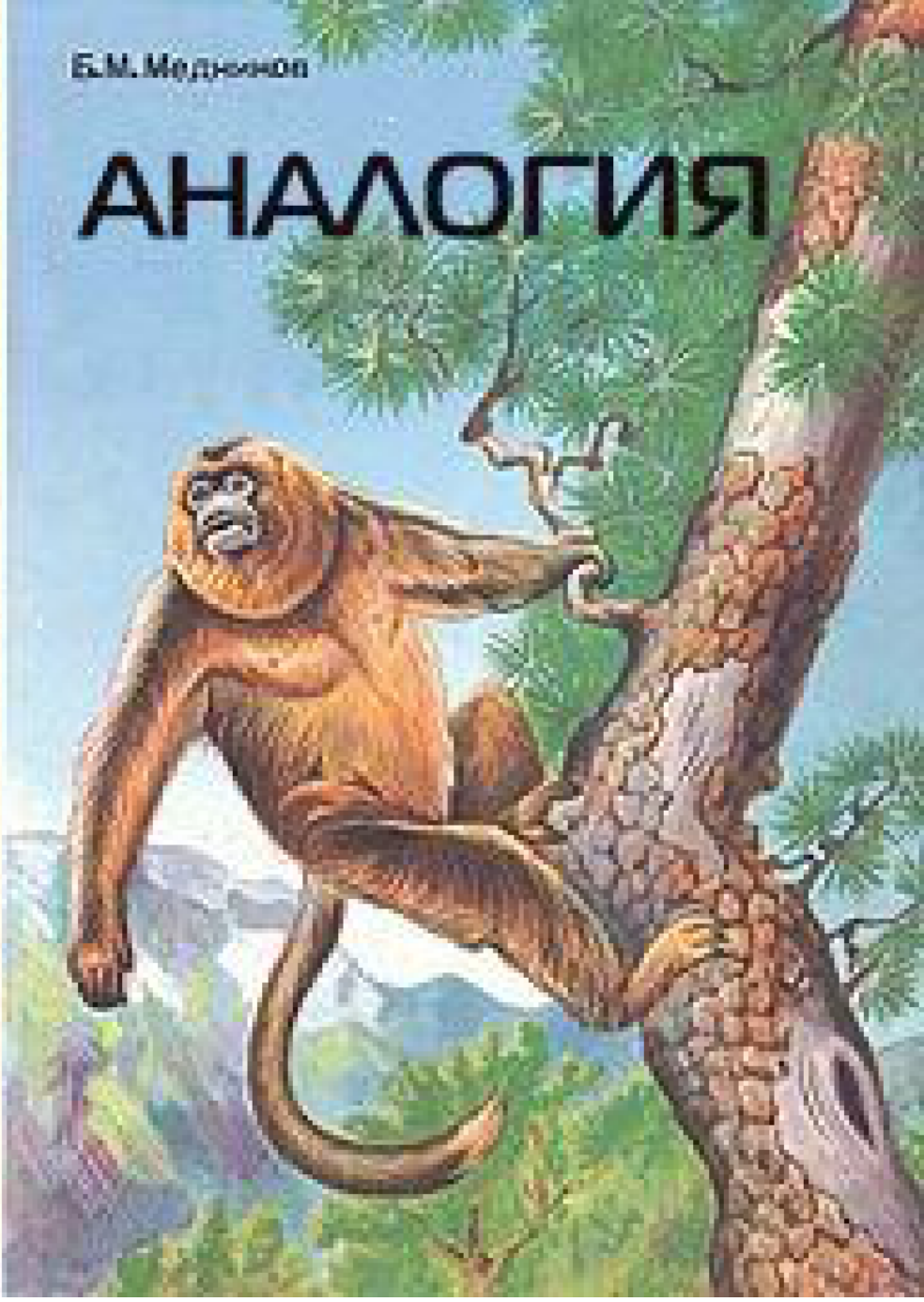
Б.М. Медников

АНАЛОГИЯ



SHOUT
SHARE
IT

Annotation

От редакции журнала «Человек»: Борис Михайлович Медников был одним из первых авторов нашего журнала. Тогда его чрезвычайно занимала идея схожести биологической и культурной эволюции человечества, и он написал для нас первую статью на эту тему «Гены и мемы — субъекты эволюции» (№4,1990), которая до сих помнится многим читателям. Потом он увлекся и с головой погрузился в проблемы СПИДа, казалось, отойдя от любимой темы. Но, как выяснилось недавно, в 1991—1992 годах он начал писать книгу, три главы которой, готовые к печати, сохранились в его архиве. Мы с радостью их публикуем.

- Борис Медников
  - Глава I
  - Глава II.
  - Глава III.
- notes
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7

Борис Медников

АНАЛОГИЯ
(параллели между биологической и культурной эволюцией)

Глава I

Восемь лет назад я написал небольшую книгу «Аксиомы биологии»[1], в конце которой высказал предположение, что возможно создание общей теории эволюции последовательно реплицирующихся систем. Завершил я книгу словами: *«Под эту категорию попадают не только объекты биологической эволюции, но и, например, человеческие языки, обычаи, обряды, мифы (включая религии), сказки и многое другое. Когда-нибудь я напишу и об этом».*

Признаюсь, я погрешил против истины: первая моя статья на эту тему под названием «Геном и язык (параллели между эволюционной генетикой и сравнительным языкознанием)» вышла в свет (в «Бюллетене Московского общества испытателей природы») еще в 1976 году. До того она три года ходила по редакциям, наталкиваясь на более, чем обоснованные возражения рецензентов — лингвистов и философов. Когда досье на злополучную рукопись значительно превзошло ее объем, это надолго охладило меня: работу дальше продолжать не хотелось.

Что же такого крамольного я писал в ней? Основная идея была следующей: для человечества два канала информации имеют первостепенное значение.

Первый — канал генетической информации — от последовательности нуклеотидов в ДНК до последовательности аминокислотных остатков в белках и далее — до того комплекса признаков и свойств организма, который генетики называют фенотипом. Этот канал присущ всей живой природе и возник вместе с жизнью. Собственно, он и отличает живое от неживого.

Второй канал возник вместе с человеком и в полном развитии присущ только человеку. Он отличает человеческое общество от популяций животных. Это язык и его производные — письменность и другие определяемые им явления человеческой культуры.

Казалось бы, что тут общего? Но в основе того и другого канала лежит последовательное, от поколения к поколению, воспроизведение с накоплением ошибок. Это то, что Н.В. Тимофеев-Ресовский назвал секвенциальной конвариантной репликацией. И в том и в другом случае информация передается от поколения к поколению, последовательно (секвенциально) копируясь. В результате этого процесса неизбежно накапливаются случайные ошибки (конвариантность).

Есть и еще одно сходство. Практически для всех живых организмов характерен процесс обмена генетической

информацией. Низшие организмы, не имеющие оформленного ядра — прокариоты — могут захватывать кусочки чужой ДНК (трансформация). Часто генетический материал переносится от бактерии к бактерии вирусами (трансдукция). Эти примитивные формы перетасовки (рекомбинации) ДНК у высших, ядерных организмов — эукариот вытесняются половым процессом, когда половые клетки-гаметы сливаются, образуя новое ядро, в котором половина генетического материала от матери, половина — от отца. Аналогичный процесс наблюдается и при передаче информации по каналу языка: редко бывает, чтобы информацию только из одного источника усваивал совершенно неподготовленный ум. Недаром говорят, что новые идеи рождаются на стыке наук, т. е. в головах людей, получивших информацию по меньшей мере из двух источников. Новые образы, новые методы и технологии, как правило, — результат этих рекомбинационных процессов.

Аналогия, на мой взгляд, очень полная. Иное дело, стоит ли ею заниматься, имеет ли она, как теперь любят говорить, эвристическое значение. Облако, о котором говорил Гамлет, может быть, действительно походило на кита или верблюда — но и что из того?

Но если процессы внешне не схожи, но вызваны к жизни и развиваются согласно общим для них закономерностям, можно предполагать, что феномен, обнаруженный в одном из информационных каналов, вероятен и в другом. Непонятное явление, обнаруженное в одной сфере, может быть истолковано по аналогии со сходным — в другой. Конечно, аналогия не доказательство, но она помогает найти искомое доказательство, со значительной долей вероятия мы уже знаем, куда надо идти, какие наблюдения и эксперименты ставить. В следующей главе мы рассмотрим ряд подобных примеров. Кое-что я приводил и в первой своей статье.

А вскоре вышла в свет книга известного английского теоретика эволюции Р. Докинза «Эгоистичный ген»[2], в которой он развивал весьма сходные идеи. Согласно Докинзу, следует различать устойчивые элементарные элементы культурной деятельности человека (слова, жесты, мелодии, навыки и т. д.). Он называет их *memes,* следовало бы этот термин перевести как «мимы», но, по-моему, лучше держаться исходного латинского звучания — «мемы», тем более, что слова того же корня (мемуары, мемориал) прочно вошли в русский язык. Мемофонд какой-либо цивилизации аналогичен генофонду биологической популяции. Случайно изменяясь при передаче из поколения в поколение и образуя разные сочетания, мемы участвуют в

культурной эволюции.

Я прочел книгу Докинза с большим удовлетворением. Дело не в приоритете: в конце концов нас обоих опередил больше чем на сто лет не кто иной, как Чарльз Дарвин. Именно он в XIV главе «Происхождения видов» впервые провел четкую аналогию между эволюцией видов и эволюцией человеческих языков. Но приятно чувствовать, что ты не один. Если одна и та же идея возникает в разных местах независимо, шансы на ее выживание и развитие резко возрастают.

Итак, сформулируем исходные положения:

1. *Генетический канал информации.* Материальный носитель информации — последовательность дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК), в которой в разных сочетаниях чередуются четыре основания — гуанин, аденин, цитозин и тимин. У высших организмов лишь немногие проценты этой последовательности кодируют аминокислотные последовательности белков (о прочей ДНК мы поговорим во второй главе). С матрицы ДНК снимается копия — молекула рибонуклеиновой кислоты (РНК). При этом особой перекодировки не происходит — лишь тимин заменяется урацилом. РНК служит матрицей при синтезе белков — это уже настоящая перекодировка с жестким, практически единым для всей живой природы кодом.

В ДНК закодирована лишь информация об аминокислотном составе белков, очередности и интенсивности их синтеза. Но от трех этих факторов зависит судьба клетки — погибнуть ей или выжить, стать клеткой нервной системы или соединительной ткани. Так формируются ткани и органы, так возникает живой организм. Не забывайте о своеобразном парадоксе: хотя все наследуемые признаки организма закодированы в ДНК, там нет, например, «гена голубых глаз» или «гена желтых горошин», как иногда говорят генетики для простоты. Все. внешние признаки организма получаются как бы сами собой в результате белкового синтеза. Так, сложив на столе три карандаша концами, мы получаем треугольную структуру с суммой углов, равной двум прямым, хотя и не задавались целью получить именно этот результат.

Но в процессе жизнедеятельности организмы испытывают условиями окружающей среды именно внешние признаки — признаки фенотипа. Не выдержавшие испытания носители неудачных признаков сходят с жизненной арены, уступая место лучшим. Но лучшие — это в то же время иные комбинации аминокислотного состава, очередности и интенсивности синтеза белков, а значит, иные гены. И новое поколение будет немного иным. Так идет биологическая эволюция.

2. *Лингвистический канал информации.* В устной речи человека (о других разновидностях речь пойдет дальше) он слагается из звуков (фонем), которые объединяются в слова, а слова — в предложения. Как и «язык» ДНК, это знаковая система, в которой звучание слов не связано с вкладываемым в них смыслом. С помощью слов можно закодировать в принципе сколь угодно большой объем информации. Сначала это были сведения о простейших жизненных потребностях и способах выжить. Потом по этому каналу передавались обычаи и технологии, обряды и мифы, и многое другое. Как и в генетическом канале информации, в лингвистическом непрерывно, из поколения в поколение, могут накапливаться изменения. Поэтому язык потомков всегда отличался от языка предков. Закодированная в этом канале информация также непрерывно подвергается воздействию внешней среды. А внешняя среда здесь — условия, среди которых существует человеческая популяция, включая отношения между ее членами и другими популяциями.

На протяжении всего существования человеческого рода шла культурная эволюция — изменение технологий и обычаев, передаваемых из поколения в поколение знаний, причем далеко не всегда она была прямолинейно прогрессивной. Порой культура претерпевала существенный регресс, мемофонд человеческих популяций обеднялся. Общеизвестен упадок культуры в начале средневековья: понадобилась эпоха Возрождения, чтобы вновь подняться до античного уровня, а там и превзойти его. Но как бы то ни было, от обезьянолюдей до нас существовала непрерывная цепь сменявшихся поочередно учителей и учеников. Они «реплицировали» друг друга, так же как двойная спираль ДНК реплицировалась и строила их самих с момента возникновения жизни.

Каково непременное условие для возникновения второго канала? Не способность произносить членораздельные звуки: знаковые системы могут быть и не звуковыми, в том числе и у человека. И не присущее человеку развитие высшей нервной деятельности: знаковые системы возникают и у животных. Это условие: сосуществование как минимум двух поколений, родителей и детей, учителей и учеников.

Осьминоги, например, неспособны к культурной эволюции, хотя у них превосходный мозг и все возможности для возникновения знаковой системы — жестовой (щупальцами и изменением окраски) и звуковой (модуляциями воронки, из которой выталкивается вода, содержащаяся в мантийной полости). Но осьминоги-родители умирают сразу после откладки яиц или выклева детенышей, и это хорошо, потому что у

головоногих моллюсков только одни отношения между поколениями — по типу хищник-жертва.

Наоборот, у дельфинов в стаде могут существовать сразу несколько поколений (дельфин, похоже, единственное млекопитающее, которое может лично знать свою прабабку и прапрабабку). Поэтому мы не случайно ищем у них способность к языку и высшей нервной деятельности.

Когда люди заговорили? Когда же возник лингвистический канал — язык? Ведь в конечном счете именно он позволяет отличить стадо обезьян от человеческого общества. Обидно, но ответить на этот вопрос мы не в состоянии. Дело не в том, что мы не можем подслушать, о чем говорили (и говорили ли вообще?) обезьянолюди, питекантропы. По-видимому, граница здесь была весьма не резкой. Практически ее не существовало.

Не только человекообразные обезьяны, но и существа, стоящие на куда более низкой ступени развития, несомненно, обладают языком, хотя и не состоящим из слов (довербальным). Лингвисты перечисляют немало характерных свойств, по которым знаковую систему можно назвать языком. Из них важнейшие можно сформулировать так:

Иерархичность построения: звуки (фонемы), комбинируясь в различных сочетаниях, образуют слова, а слова — предложения.

Произвольность знаков: так же как произвольное сочетание точек и тире в азбуке Морзе кодирует какую-либо букву, так и звучание слова не связано с его смыслом. «Яма» по-японски — «гора». Наоборот, такие звуки, как кашель, чихание, икота — непроизвольны. Однако каждый из нас может припомнить случай, когда, например, намеренное покашливание служит сигналом, хотя бы предостережением увлекшемуся оратору. Тогда это информационный знак, но он становится им только по предварительной договоренности. Договориться можно быстро: известно, что младенцы-близнецы, долго предоставлявшиеся самим себе, труднее обучаются говорить, потому что успевают придумать свой, условный язык. Произвольность знаков возникает очень рано: она описана не только у обезьян, но и у птиц, например галок. Произволен и язык танцев медоносных пчел.

Открытость: в настоящем, развитом языке слова могут комбинироваться в сколь угодно длинные предложения и сочетания предложений, так что ими можно передать информацию любого объема. Полная открытость, кажется, имеется только в человеческом языке (и в «языке» ДНК).

Как же устроен довербальный, бессловесный язык обезьян? Л. А. Фирсов полагает[3], что он состоит из жестов, мимики,

пантомимы и так называемых фонаций — неязыковых звуков, вроде уже упоминавшегося условного покашливания. М. В. Арапов идет дальше: он считает, что звуки довербального языка (он его именует ветхим, по аналогии с Ветхим Заветом) перешли в язык словесный, вербальный и дожили до наших дней. Это междометия, зависящие от психического состояния говорящего (ах, а, ох) или выражающие волю говорящего (но-но, ни-ни, на, тсс, эй), звуковые жесты (бах, цап, хлоп), наконец «детские слова» (агу, баю), в которых часто встречаются щелкающие звуки-кликсы.

Но можно ли разговаривать на таком «языке»? Оказывается, он не так уж плох. Тому свидетельство — опыты, поставленные японскими учеными над макаками острова Косима. Обезьян подкармливали бататами и рассыпанной по пляжу пшеницей. Молодая самка, по кличке Имо, быстро научилась мыть бататы в соленой воде и отделять зерно от песка флотацией. За девять лет этому обучилась вся стая.

Если перевести технологию, придуманную Имо, с довербального языка на русский, получится примерно следующее:

1) Бататы, поднятые с поверхности пляжа, надо мыть в воде. чтобы песчинки не хрустели на зубах.

2) Подсоленные, вымытые в морской воде, бататы вкуснее.

3) Отделить пшеницу от песка просто, если бросить горсть ее в воду; плавающие на поверхности воды зерна собрать ладошкой.

На мой взгляд, не так уж мало. Если учесть еще, что в то же время обезьяны научились друг у друга плавать, и даже нырять, и ходить на задних ногах, когда передние заняты пригоршнями пшеницы с песком, становится ясно, что мы до сих пор недооцениваем умственные способности «братьев наших меньших». Длительный срок обучения всей популяции объясняется тем, что первыми обучаются молодые обезьяны, занимающие в иерархии стада последнее место. Гениальной Имо потребовалось несколько лет, чтобы занять подобающее место в иерархии. Старые особи не перенимают полезных навыков не потому, что они глупее. Просто у обезьян не принято усваивать опыт молодых. В лабораторных опытах установлено, что если особь, занимающую последнее место в стаде («омегу»), обучить, например, доставать палкой бананы, ей никто не подражает. Иное дело, если то же самое проделает доминирующий самец («альфа»): все члены стада тогда с подобострастным восторгом перенимают эту методику. И в этом проглядывает что-то человеческое (или в нашем поведении обезьянье?). Кривая на графике скорости распространения в стаде информации, полученной Имо, очень напоминает, например, кривую роста

посадок картофеля в Российской империи в XIX веке или же кривую роста цитирования важной научной работы. Только темпы распространения информации в человеческом обществе часто бывают куда ниже.

И все-таки довербальный канал информации мало пригоден для передачи сложных сообщений. У предков человека язык развивался, конечно, постепенно. Однако должен быть момент, когда медленно, из поколения в поколение накапливающиеся изменения должны были дать резкий, качественный скачок. Когда же он произошел?

М. В. Арапов полагает, что знаковая система предков человека получила все особенности человеческого языка 35-40 тыс. лет назад, при переходе от неандертальского человека к современным формам *Homo sapiens.* Это привело к быстрому распространению совершенных технологий обработки камня, кости, дерева и рога, новых способов охоты, созданию мифов и примитивных религий. Однако я считаю, что языковой скачок произошел много раньше — более одного миллиона лет назад.

Между африканскими прямоходящими обезьянами — австралопитеками и первыми обезьянолюдьми — питекантропами имеется, по современным данным, промежуточное звено — человек умелый, *Homo habilis,* описанный из отложений экваториальной Африки. По морфологическим признакам он весьма близок к австралопитеку. Однако он уже мог изготовлять каменные орудия, пусть весьма примитивные. Культура человека умелого — олдовайская или галечная — широко распространена, в последнее время ее обнаружили и в Азии, в том числе и у нас в Забайкалье. Особенность галечных орудий, кроме примитивности — разнообразие: нет устоявшейся формы, стандарта в размерах — лишь бы был режущий край. Но вот около полутора миллионов лет назад происходит резкий скачок, на смену человеку умелому приходит архантроп (питекантроп по старой терминологии). Он уже умеет изготовлять более совершенные орудия — ручные рубила на западе ойкумены, чопперы (сечки) на востоке. Эти орудия более стандартны, симметричны и даже отличаются своеобразным изяществом.

Не заманчиво ли выглядит предположение, что именно тогда знаковые системы наших предков достигли такого развития, что с полным правом могли называться языком? Связывать возникновение языка с неандертальцем, на мой взгляд, нет оснований. На этой стадии человек был уже способен к отвлеченным понятиям, вроде религиозно-магических представлений и ритуалов. Неандерталец уже хоронил своих

близких, окрашивая их тела охрой, украшая могилы рогами дикого козла и даже цветами. Изобилие цветочной пыльцы в могиле ближневосточного неандертальца шокировало археологов. В самом деле, трудно поверить в венки и букеты на такой ранней стадии развития культуры. Высказывалось даже предположение, что это могила шамана-лекаря, похороненного с лекарственными растениями — орудиями его ремесла. Но ведь существование специалистов-медиков в ту пору — еще более веское опровержение мнения о звероподобности неандертальцев!

В пещерах Швейцарии и Баварии обнаружены также оставленные неандертальцами ритуальные захоронения голов и лап пещерного медведя. Так, в труднодоступной пещере Драхенлох, на высоте 2445 м найдены черепа и длинные кости конечностей не менее чем от 100 особей, нередко «захороненные» в ящиках из плит известняка. Подобные находки насчитываются тысячами. Есть такие захоронения и на территории СССР (в Причерноморье и на Кавказе), в Венгрии и Франции. Во Франции, в пещере Регурду обнаружено захоронение костей медведя, но уже не пещерного, а бурого.

Все это очень напоминает ритуальные погребения частей тела медведя после «медвежьих праздников» у ульчей, гиляков и айнов — народов нашего Дальнего Востока. У самых разных народов голова и лапы самого сильного зверя, хозяина лесов, были табуированы (считались запретными). Бытовал такой обычай и у наших непосредственных предков.

Б. А. Рыбаков прослеживает культ медвежьих лап и когтей в раскопках фатьяновской культуры, в славянских курганах эпохи язычества и в русских сказках. Он напоминает о сказке «Медведь на деревянной ноге» (№ 57 из сборника А. Н. Афанасьева). Эта сказка среди прочих стоит особняком: обычно сказкам, как и ковбойским фильмам, присущ «хэппи энд». В ней же медведь съедает старика и старуху за то, что они нарушили табу — сварили для еды его отрубленную лапу. Мы сейчас не понимаем смысла этой страшной сказки, но в эпоху ее создания она явно была притчей, наставлением.

А теперь задумаемся: неужели неандертальцев и нас на протяжении более 50 тыс. лет (сто тысяч поколений!) связывает непрерывная культурная традиция — табу на части тела медведя? Или же этот обычай возникал неоднократно и независимо у разных народов?

Полагаю, что обе точки зрения имеют равное право на существование.

Но вернемся ко времени возникновения первого языка. Вряд ли язык следует омолаживать. Оказалось, что шимпанзе и, в

меньшей степени, гориллы способны усваивать сотни знаков американского языка для глухонемых — амслана. 55 исходных единиц амслана могут комбинироваться в слова и фразы. Шимпанзе Уошо — воспитанница А. и Б. Гарднеров — первая обезьяна, которая научилась говорить, за ней и другие усваивали амслан или набирали условные знаки на клавиатуре компьютера. Звуковой язык обезьяны усвоить не в состоянии, не только потому что их гортань не приспособлена для произношения членораздельных звуков. Вспомним, что речевая зона Брока в мозгу обезьян занята центром мимики, поэтому жестикулировать им гораздо легче. И здесь шимпанзе гориллы показывают способности фантастические. Горилла Коко усвоила 645 знаков, причем активно сочиняла слова. Та же Уошо строила предложения. В русском языке можно употребить «дай яблоко» и «яблоко дай»; в английском порядок слов в предложении куда более жесткий. Уошо всегда говорила: «дай яблоко» (give me the apple) — строго следуя английскому синтаксису, и самостоятельно обучила приемного сына жестовому языку людей. Окончательно доконали обезьяны исследователей, когда начали шутить и ругаться на амслане, причем и шутки, и ругательства изобретали сами. Возможно, они то же делают, используя свой довербальный язык, который мы еще не понимаем.

Многие лингвисты отказываются признать, что шимпанзе в опытах Гарднеров и их последователей заговорили, и видят в жестикуляции Уошо простое подражание (а как обучаются языку человеческие дети?). А пока шли ученые споры, произошел забавный казус.

Считается, что взрослые человекообразные обезьяны могут стать опасными, поэтому выросших шимпанзе, даже «говорящих», отправляли на вечное заключение в зоопарки. Но в ФРГ известным зоологом и защитником дикой природы Б. Гржимеком было создано общество охраны животных, которое возвращает их в дикую природу. Выкупленные у зоопарков шимпанзе находили приют на небольшом острове близ Сенегала. Так вот, одна из обезьян, по кличке Люси, усвоившая в неволе около 300 слов на амслане, подошла к Гржимеку, инспектировавшему заповедник, и обратилась к нему со словами-жестами: «Здравствуй, учитель! Я — Люси. Нет ли у тебя чего-нибудь вкусненького?»

Комментарии излишни. В дополнение к своему, довербальному языку высшие обезьяны вполне могут усваивать основы языка человеческого, пусть не звукового.

Рискнем пойти дальше. Осмелюсь утверждать, что некоторые обычаи, унаследованные нами от обезьян, переведенные с довербальных языков на словесные, вербальные, сохранялись в

человеческих обществах до недавнего времени, а иные живы до сих пор. Вот два таких примера.

Офиофобия и груминг. Путешественники, побывавшие в тропических областях Африки и Южной Азии, согласно отмечают удивительный факт: местные жители, даже опытные и смелые охотники, испытывают панический страх перед змеями, причем порой считают смертельно ядовитыми даже питонов. Тот же страх перед змеями (назовем его офиофобией) присущ и большинству европейцев. Дж. Даррел с присущим ему юмором пишет, как он пытался убедить одну посетительницу зоопарка, что страх и отвращение к змеям отнюдь не врожденное свойство человека: маленький ребенок с удовольствием будет играть с безобидной змеей вроде ужа. Но женщина возмутилась: «Ничего подобного, я их с рождения терпеть не могла. И мама моя ненавидела змей». Ну что тут скажешь!

Оказывается, что офиофобия — один из многочисленных признаков, объединяющих нас с обезьянами. Те тоже боятся змей панически, заодно, на всякий случай, остерегаются и ящериц, в том числе и совершенно безобидных хамелеонов. Исключения редки: павианы, жители пустынных скал, маленьких змей не боятся и при случае поедают, как и скорпионов.

Порой офиофобию объясняют влиянием религии: змей-де искушал в раю Адама и Еву. Но аборигены тропиков боялись пресмыкающихся еще до контакта с миссионерами. Жители Индии змей, особенно кобру, считают священными символами бога Шивы. Тем не менее, Джавахарлар Неру в своих мемуарах пишет, что после того, как он увидел змею в тюремной камере, где сидел по приговору британского суда, *«он поверил в теорию Павлова об условных рефлексах»*.

Итак, офиофобия — условный рефлекс, который из поколения в поколение воспроизводится у детей стараниями родителей, и длится этот процесс миллионы лет, он куда древнее человеческого рода. Турист, молотящий палкой безобидного ужа, ничем не отличается от альфы — вожака обезьяньего стада.

Но рефлекс, не подкрепляемый долгое время, постепенно сходит на нет и исчезает. Точно так же ген, в котором нужда отпадает, в конце концов выпадает из популяции. Вот хороший пример: у человека есть три формы одного белка-фермента — кислой фосфатазы эритроцитов. Кодируются они тремя генами, причем частота каждого гена сильно варьирует от популяции к популяции. Дело в том, что одна форма фермента хорошо работает при температуре чуть ниже 37°, другая, наоборот, чуть выше, третья промежуточная. А эритроциты значительную часть времени своего существования проводят в капиллярах покровов

нашего тела, которые могут быть охлаждены или, наоборот, перегреты. Оказалось, что у популяций, долгое время, сотни поколений, проживающих на севере (лопари-саамы, алеуты, эскимосы, юкагиры, чукчи), частота встречаемости «холодного» гена высока (до 0,7). У индейцев Центральной и Южной Америки, негров Африки, меланезийцев и австралоидов «холодная» форма редка, там преобладает «теплая». Рассчитали даже, что сдвиг на 20° широты к северу увеличивает частоту встречаемости «холодного» гена на 10%. Но есть и исключения. Народы, недавно проникшие в северные области, еще сохранили южную кислую фосфатазу. Якуты, например, по этому признаку южане: ведь их предки, воинственные курыканы (племя «гулигань» старых китайских хроник) пришли в низовья Лены только в VII в. нашей эры. До того они кочевали в окрестностях Байкала и южнее его.

Соответственно и фольклор их (то, что передается по лингвистическому каналу) несет южный отпечаток. В преданиях якутов фигурируют львы, тигры и змеи. Предки чукчей пришли на крайний северо-восток Азии на тысячу лет раньше. Но и у них сохранилось предание о гигантском черве, который живет на краю страны мертвых и душит в своих кольцах проходящих мимо него путников. Страна мертвых в примитивных религиях одновременно и страна предков. Значит ли это, что предки чукчей знали удавов?

Но еще раньше, более 12 тыс. лет назад, через эти края, свободные от змей, прошли на Аляску предки американских индейцев. Они пришли на американский континент и встретились там с гремучими змеями и анакондами, уже освобожденные от обезьяньей офиофобии. Поэтому америнды относятся к змеям по-человечески: остерегаются опасных, при случае едят (даже гремучих), порой обожествляют (Кецалькоатль, Пернатый Змей ацтеков), но не шарахаются рефлекторно, как мы.

От обезьян мы унаследовали и другие обычаи, многие из которых отмирают на наших глазах. Все вы, наверное, видали в зоопарках идиллические сцены, когда обезьяны ищут друг у друга блох и иных паразитов. Тот же Даррел пишет, что целью поиска являются не только паразиты (хотя, если попадется блоха, она тут же будет съедена), но и кристаллики соли, остающиеся в шерсти при испарении пота. Эта процедура взаимной очистки проводится не только с санитарными целями. Для обезьян это акт, выражающий взаимное уважение, добрые чувства. Он сплачивает обезьянью стаю в единое целое, и этологи — специалисты, изучающие поведение животных, даже присвоили ему специальный термин — *груминг*.

Груминг был широко распространен в примитивных

первобытных обществах и не только в далеких странах. Античные авторы называли племена, населяющие Кавказ, фтейрофагами — вошеедами. У камчадалов, по свидетельству Крашенинникова — первого нашего этнографа, этот обычай сохранился до XVIII века. Он же пишет, что казаки, собиравшие в то время на Камчатке ясак, сурово осуждали и запрещали этот обычай. Но в смягченном варианте (без поедания объектов поиска) он сохранился у самих казаков, правда, не сибирских, а донских, до XX века: помните, у Шолохова в «Поднятой целине» отрицательный персонаж кладет голову на колени подружке: «Поищи меня. Любушка!» Груминг часто встречается в сказках народов Европы. Напомню хотя бы сказку братьев Гримм «Три золотых волоска с головы черта».

Эти рассуждения могут покоробить кое-кого из читателей. Полагаю, впрочем, что вряд ли кто-нибудь рассчитывал унаследовать от обезьян поэмы Гомера и диалоги Платона. О других обезьяньих привычках в человеческом обществе я остерегаюсь писать, потому что иные примеры кажутся спорными, на уровне допущений. В частности, шимпанзе любят в тропическом лесу молотить палками по досковидным резонирующим корням деревьев. Современный столь модный ныне «хард-рок» добавил в эту музыку лишь звук металла.

Наконец, не напоминает ли управляющая нами *Административная Система,* со строгой иерархией, без обратных связей, структуру стада обезьян с вожаком-альфой во главе, передающим тычки и знаки поощрения по нижним этажам, вплоть до последнего члена стада — омеги?

Право же, глядя на обезьян, мы порой напоминаем сами крыловскую мартышку, увидевшую «образ свой» в зеркале.

Реставрация хода эволюции. Биологов всегда интересовало, как шла эволюция, как выглядели наши обезьяноподобные предки, первые примитивные млекопитающие, динозавры и, далее, в глубь времен — первые живые клетки. А теперь нас интересует и другое — какие биохимические процессы возникли раньше, какие позже, как были устроены у вымерших организмов белки, какие нуклеотидные последовательности имели гены. К сожалению, сами гены в ископаемом состоянии практически не сохраняются. Даже мамонты в вечно мерзлой земле Сибири оказываются на довольно далеко зашедшей степени разложения, когда от ДНК остаются малоинформативные обрывки. Поэтому все разговоры о возможности воссоздания мамонта методами генной инженерии до сих пор оказываются газетными утками.

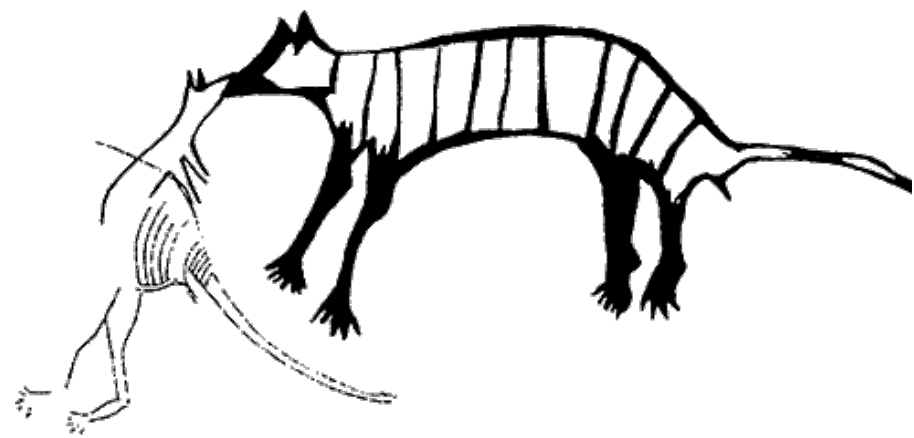
С белками дело обстоит немногим лучше, хотя пептидные связи в них устойчивее фосфодиэфирных, слагающих ДНК. Протеолиз белков и вездесущие бактерии делают свое черное

дело. Впрочем, уже давно удалось показать, что иммунологически мамонт был ближе к индийскому слону, чем к африканскому — вывод, в общем-то, тривиальный.

Есть, однако, довольно устойчивые белки, сохраняющиеся в костях десятки тысяч, а то и миллионы лет. Самый устойчивый из них — коллаген, белок соединительной ткани. Изучая его аминокислотные последовательности, молекулярные палеонтологи сделали ряд любопытных открытий. Вот два примера.

Истребленный человеком и динго в Австралии и Тасмании сумчатый волк выглядел среди других австралийских сумчатых каким-то чужаком, явно на них непохожим. Этого волка-тилацина (рис. 1) выделили в отдельное семейство. И в то же время он удивительно походил на хищных сумчатых семейства борги-енид с другого конца планеты — Южной Америки. Боргиениды в роли волков и диких собак благоденствовали в южноамериканских пампасах, но все вымерли совсем недавно — около 10 тыс. лет назад.

Сходство их с тилацином было настолько велико, что некоторые исследователи стали объединять эти семейства. Но как сумчатый волк забрел из Нового Света в Австралию? Конечно, эти материки когда-то соединялись через Антарктиду, еще не покрытую льдом, и в миоценовых слоях Антарктиды найдены остатки сумчатых. Но соединение всех трех континентов приходилось на конец мелового периода, когда существовали лишь самые примитивные сумчатые, очень похожие на доживших до наших дней и не собирающихся вымирать опоссумов.



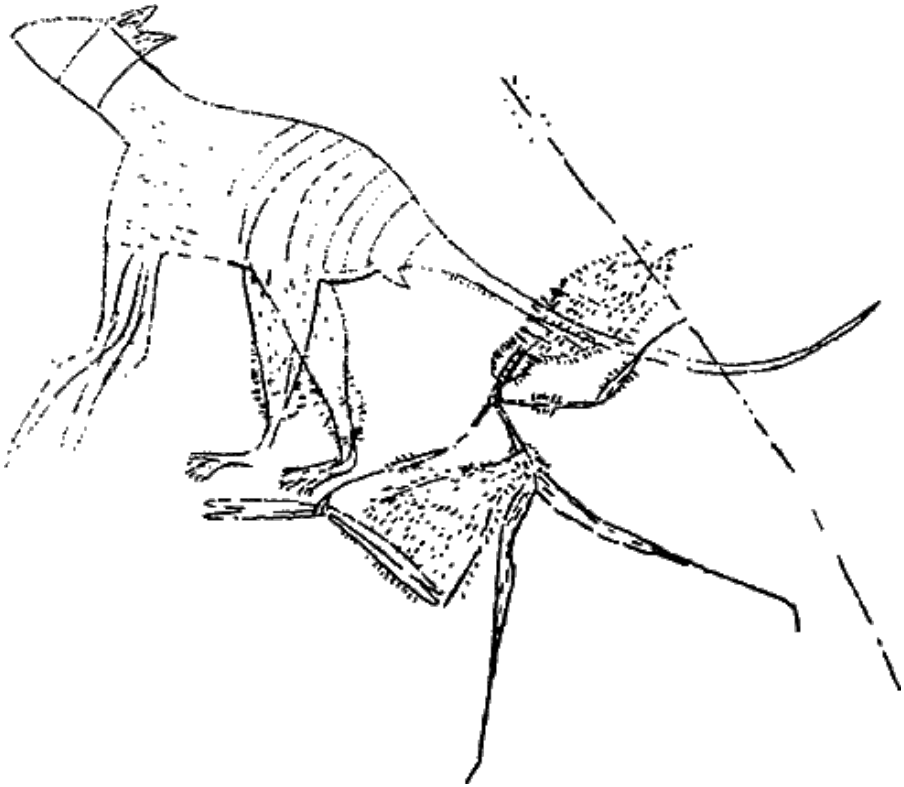


Рис. 1. Наскальные изображения истребленного людьми тилацина: кормящего своего малыша (вверху), охота на тилацина. Дангуррунг, Австралия

Решение проблемы дал коллаген. Еще Дарвин в путешествии на «Бигле» обнаружил, что ископаемые кости аргентинской пампы настолько богаты органикой, что, будучи подожженными на спиртовке, продолжают гореть синим пламенем. Кости боргиенид, сумчатого волка из музея и кости ныне живущих сумчатых выварили в воде (методика экстракции коллагена ничем не отличается от приготовления студня). Оказалось, что коллаген тилацина — непохож на этот белок у боргиенид, но очень схож с коллагеном сумчатого — медведя-коалы и вомбата. Значит, сходство тилацина с южноамериканскими сумчатыми конвергентное, оба семейства возникли независимо, хотя и от одних меловых предков.

В последнее время удалось даже выделить коллаген из костей австралопитеков — живших миллионы лет назад прямоходящих африканских обезьян. По аминокислотной последовательности он оказался идентичен человеческому!

К сожалению, коллаген — исключение. Непосредственные продукты генов — белки у ископаемых животных так же

недоступны нам, как и сами гены. Поэтому о генетических программах организмов, не доживших до наших дней, мы можем судить лишь косвенно, по конечным результатам. В первую очередь по костям и другим скелетным элементам. Сопоставив их с гомологичными органами ныне живущих организмов и изучив генетические программы последних, мы можем восстановить, казалось бы, навсегда утраченные гены тех же мамонтов или динозавров.

Этот вопрос мы разберем в следующих главах. А как обстоит дело с культурной эволюцией? Можно ли реставрировать ее ход, узнать, на каких языках говорили древние люди, а главное — что выражали словами этих языков? Какие сказки и мифы рассказывали под сводами пещер у давным-давно погасших костров, как они добывали средства к существованию? И далее, вернее, ближе к нам: что подвинуло наших предков изобрести земледелие и животноводство, научиться плавить металл, ткать лен и хлопок, лепить горшки? Как происходила смена отношений между людьми в период смены формаций? Здесь явная аналогия с реконструкцией биологической эволюции.

Естественно, то, что не оставило следа в памяти потомков, исчезло бесследно. Мы можем с достаточной долей вероятия восстановить древние языки и обряды, людские взаимоотношения и сказки лишь в той степени, в какой они живы в современных обществах. Точно так же, как восстанавливаем структуру генов вымерших животных — по гомологичным генам их родственников и потомков, доживших до наших дней.

Эти проблемы разрешает сравнительная лингвистика и этнография. Другой источник — данные, поставляемые археологией, аналогом палеонтологии в применении к человеческому общест-ну. Жилища и одежда, утварь и оружие не эволюционируют так же, как кости скелета. В строгом смысле слова в обоих каналах информации эволюционируют технологии, и судить об исторических процессах мы можем только по конечным результатам. Можно только подивиться, сколько информации о жизни древнего общества может дать подготовленному уму, например, черепок горшка или кусочек шлака из древней домны.

Наверняка найдутся читатели, которые спросят: а зачем нам все это нужно? Они могут, конечно, снисходительно отнестись к попыткам разгадать технологию изготовления булата или царского пурпура, но не больше. Увы, такие скептики-прагматики встречаются и там, где изучают каналы генетической информации, т. е. ход биологической эволюции.

Но в конечном счете анализ передачи информации по

лингвистическому каналу, изучение эволюции мемофондов и есть изучение истории. Скажем так: история человеческих обществ и есть эволюция мемофондов. В этой науке существуют две крайности. Одни сводят ее к перечислению деяний королей и вождей, к списку войн и дворцовых переворотов. В нашей исторической науке ранее был принят другой взгляд: история как борьба классов. Но сводить историю к классовой борьбе, на мой взгляд, означает также обеднять ее. Это такая же бесплодная вульгаризация, как и противоположная точка зрения. Будем считать, что многие законы истории, законы эволюции человеческих обществ, нам еще предстоит открыть. Если мы не будем оглядываться назад, то обречены спотыкаться о каждый камень на своем пути вперед. И в этом смысл изучения эволюции мемофондов.

«Иди за мною, и пусть мертвые погребают своих мертвецов». Не вчера сказано, и не простым человеком. А сколько пророков и лжепророков повторяло эти неосторожные слова! Не оттого ли мертвые до сих пор хватают за горло живых?

Замороженная речь. Человек уже на ранней стадии развития обнаружил существенные недостатки лингвистического канала передачи информации.

Первый из них — несовершенство хранения. Хотя объем долгосрочной памяти человеческого мозга огромен и никто еще не исчерпал его до предела, далеко не все люди умеют его использовать с должной эффективностью. К тому же, время существования какого-либо блока информации ограничивается жизнью его носителя.

Второй — ограниченность расстояния, на которое можно ее передать: теоретически оно ограничено пределом, на которое разносится человеческий голос, обычно гораздо меньше и не превышает размеров университетской аудитории или поляны под священным дубом.

Как же сохранить информацию, закодированную звуками, помимо человеческой памяти? Герои Рабле слышали слова, оттаивающие после того, как они замерзли на морозе, барон Мюнхаузен слышал мелодию из оттаивающего охотничьего рожка. В этих шутках — давняя мечта человечества, которая, как ковер-самолет, реализовалась совсем недавно — в дисках и магнитофонных лентах. Но и задолго до этого человек успешно «запасал» информацию впрок.

Началось это с первых рисунков на стенах пещер и предметах утвари. Этот метод быстро разделился на живопись и скульптуру с одной стороны (информация для сферы эмоций) и письменную речь — с другой. Сначала было пиктографическое, рисуночное

письмо, затем иероглифическое, слоговое и, наконец, алфавитное, дополняемое чертежами, рисунками, схемами. Параллельно развивались специализированные знаковые системы — жестовый язык глухонемых и своеобразный жестовый язык североамериканских индейцев, служивший для общения между разноязычными племенами.

До открытия электричества попытки передачи информации на большие расстояния без медлительного посредника-гонца были разнообразными, но не очень удачными и не решали проблему до конца. Это и сигнальные барабаны, и свистовой язык — стильбо жителей Канарских островов, и сигнальные костры и дымы, наконец, оптический телеграф Шаппа. Лишь электрический телеграф Морзе впервые решил проблему. А дальше радио и телевизор, видеомагнитофон и прочие ухищрения современной техники.

И лишь в XX веке люди сообразили, что информацию, закодированную электрическими импульсами, можно не только хранить и передавать, но и автоматически обрабатывать. Так появились первые ЭВМ. Споры о том, думают ли современные компьютеры и можно ли вообще построить «думающую» машину, мне кажутся бессмысленными. Сейчас на Земле только два устройства могут обрабатывать большие объемы информации — мозг и ЭВМ. Пока мозг работает лучше, но вряд ли это положение сохранится навек. Во всяком случае, появление ЭВМ — огромный скачок, сравнимый по масштабу с «изобретением» лингвистического канала.

Но и до этого в эволюции «замороженной» речи были революционные скачки — в первую очередь книгопечатание. Для изучения эволюции мемофондов письменная речь имеет огромное значение. Знаки на стенах пещер, египетские папирусы и новгородские берестяные грамоты, летописи и памятные надписи хранят большие объемы информации о былом, недаром историю, несколько условно, делят на письменную и дописьменную. Условно, потому что многие народности до XX века не знали своей письменности, да и развивалась она столь неравномерно, что и в XIX веке пиктография кое-где существовала.

Вряд ли кто-нибудь будет отрицать важность для истории летописей и грамот. Но не надо недооценивать значение и других памятников материальной культуры. Из них важнейшими, помимо остатков орудий производства, являются именно первые попытки письменности. Закодированная в них информация и сейчас «летит издалека, сердца пронзая и века». Правда, порой немало трудов приходится тратить на ее расшифровку. Но игра, как мне кажется, стоит свеч. Поэтому приведу несколько

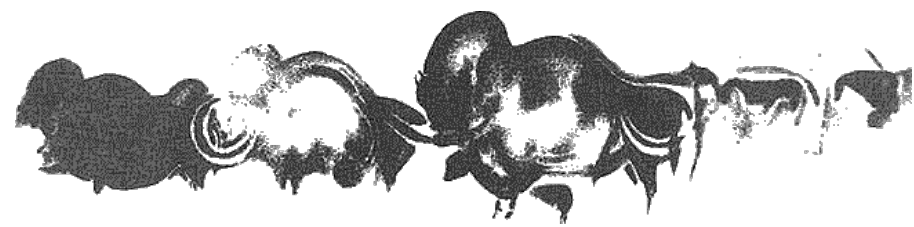
примеров.

Как торчали бивни у мамонта? Все мы привыкли на многочисленных иллюстрациях и у скелетов, смонтированных в музеях, видеть бивни мамонтов направленными вверх и в стороны. Но в последнее время стало побеждать иное мнение: мамонтовые бивни были направлены вниз и навстречу друг другу. Нашлось и рациональное объяснение: мамонт-де, как бульдозер, разгребал бивнями снег в поисках травы. С. В. Томирдиаро полагает, что мамонты выламывали ими куски льда из ледяных жил. Ведь зимой большинство источников воды замерзало. Подтверждением этого как будто бы служит тот факт, что большинство крупных бивней еще при жизни было сломано. Однако сломанные бивни столь же часто встречаются и у африканских слонов, жажду льдом не утоляющих.

Вы спросите: неужели не нашлось ни одного черепа мамонта с целыми бивнями? Нет, они находились десятками, если не сотнями. Но когда в альвеолах истлевает органика, бивни свободно вращаются в них и могут изменить положение, если грунт проседает. Часто в процессе захоронения бивни давлением земли просто выдергиваются из альвеол. Кто же прав: старые реставраторы прошлого века или современные?

Обратимся к ныне живущим африканским слонам. Их бивни по длине и массе лишь незначительно уступают мамонтовым. Оказывается, форма и направление бивней варьируют в очень широких пределах. Встречается и «старое» и «новое» расположение. Бивни мамонтов еще более разнообразны. Значит, вопрос, поставленный в заголовке, следует сформулировать иначе: какое расположение их у мамонтов было обычным, наиболее частым?

Трудно понять, почему «мамонтоведы» не обратились за консультациями к людям, которые видели мамонтов каждый день, убивали их и питались их мясом. Ведь иконография мамонтов на стенах пещер и предметах обихода людей палеолита достаточно обширна. Эти изображения — самый веский, неопровержимый аргумент в ученых спорах. Так обратимся же к нему!



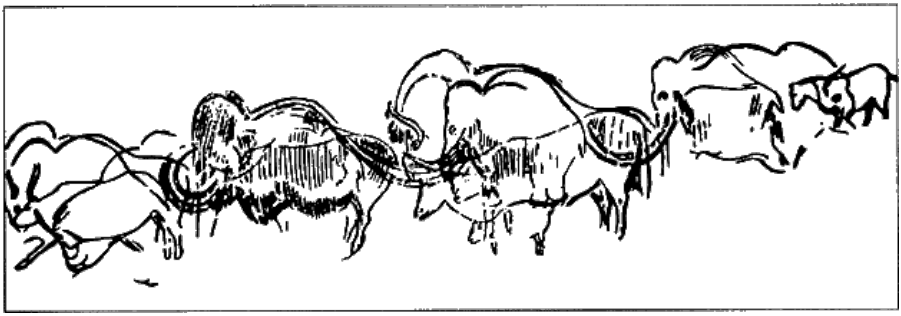


Рис. 2. Фотография (вверху) и прорисовка сцены с бизонами и мамонтами. Пещера Фон де Гом, Франция. (По Брейлю)

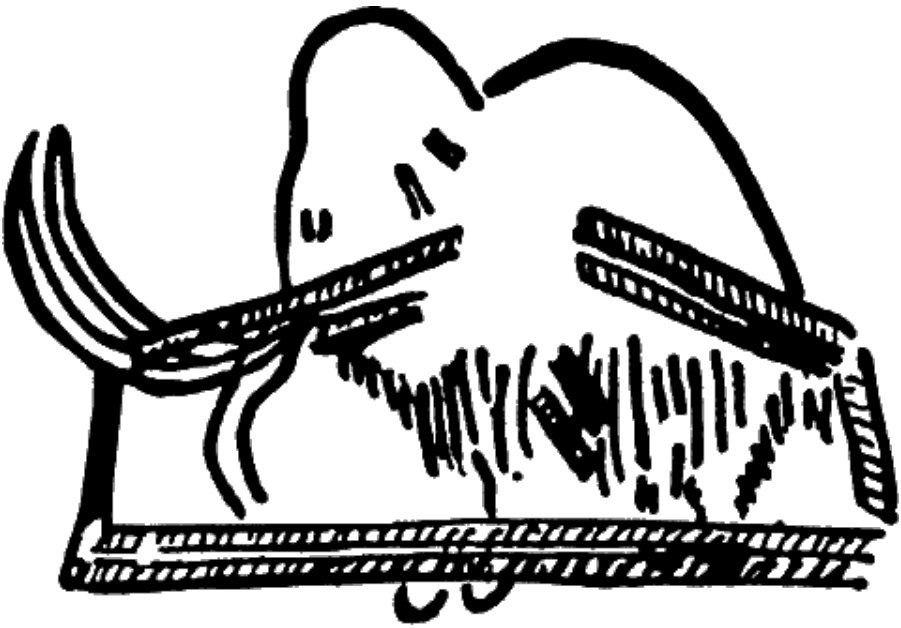


Рис. 3. Изображение мамонта. Пещера фон де Гом, Франция

На рисунках 2 и 3 представлены известные и самые четкие изображения. Как вы можете заметить, везде бивни расположены так, как предполагали первые реставраторы. Видимо, это расположение, вверх и в стороны, было нормой, а другое — исключением, причем настолько редким, что не заслужило увековечения. Спорить, по-видимому, не о чем.

Это не единственный пример, когда информация древних людей уточняла реконструкцию внешнего вида вымерших животных. Вот и другой: аборигены Австралии рассказывали белым поселенцам о давно прошедшем золотом веке, когда «кролики были ростом с быка». Действительно, совсем недавно, около 10 000 лет назад до нашей эры резко возросшая засушливость климата погубила значительную часть фауны

крупных сумчатых австралийского континента (рис. 4). Были среди них и дипротодоны — огромные, не уступавшие быку или носорогу травоядные сумчатые. Их многочисленные скелеты находят по берегам пересохших озер в центре Австралии, там, где ландшафт из степного стал пустынным.

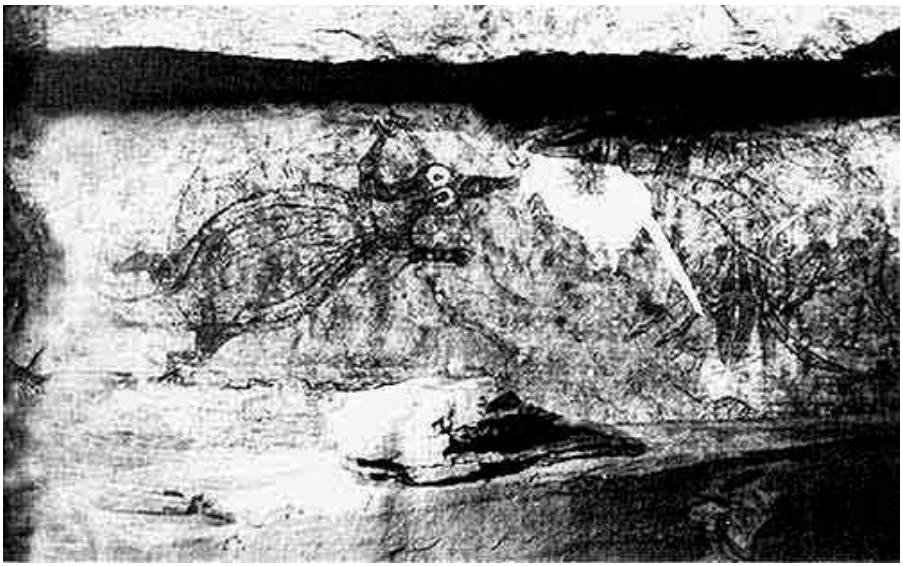


Рис. 4. Наскальное изображение гигантского сумчатого и гигантского пресноводного крокодила, вымерших около 10 тыс. лет назад. Дангуррунг, Австралия

Но почему аборигены сравнили их с кроликами, которых завезли европейцы? Только ли из-за крупных резцов? Это станет понятно, если сравнить реконструкцию дипротодона (не из самых удачных) и наскальный рисунок, возраст которого более 10 тыс. лет, обнаруженный палеонтологом П. Трезайсом в одной из пещер Северной Австралии. Не будь этого рисунка, мы бы не подозревали, что ушные раковины дипротодона были куда больше и имели иную форму. Ведь в них нет костей, и в ископаемом состоянии они не сохраняются. Реконструкция ушных раковин вообще больной вопрос — в том числе и для последователей М. Герасимова, восстанавливающих облик индивидуального человека по его черепу.

Вы видите, что по рисункам древнего человека можно получить информацию об окружавшей его природе. Но несравненно более важные данные сообщают эти рисунки о жизни самого человека. Приведу несколько подобных примеров.

Как метнуть копье дальше? Меня всегда забавляли рисунки, иллюстрирующие повести о жизни первобытных людей. В них у

края ледника бегают в меховых плавках люди, сгибаясь под тяжестью разнообразного охотничьего снаряжения — копий, дротиков, топоров, рогатин и дубин. Похоже, что ни авторы, ни художники не подумали, что героя их повествования съест первый же попавшийся пещерный лев, прежде чем тот хотя бы выберет подходящее оружие. В дошедших почти до наших дней примитивных обществах охотников-собирателей всю поклажу при перекочевках тащили женщины; мужчины шли налегке, вооруженные всего одним луком или, чаще, копьем, чтобы в любой момент метнуть его в добычу или же отбить нападение хищника (а прекраснодушные европейские исследователи возмущались участью туземок, низведенных до положения вьючного скота).

Лук появился в обиходе относительно недавно, с концом ледникового периода. До того десятки тысяч лет главным оружием было копье. Другие орудия использовались лишь при специализированных охотах (рогатина — для того, чтобы принять на нее медведя, легкий дротик — для охоты на птицу и мелкого зверя, и так далее).

И пользовались копьем с каменным наконечником люди палеолита фантастически умело и сильно. Как вы помните, Шерлок Холмс не мог гарпуном (со стальным лезвием!) проткнуть свиную тушу. А на палеолитической стоянке на Енисее под Красноярском найдена лопатка первобытного бизона, насквозь пробитая наконечником из рога северного оленя. Охотник оплошал, попав в лопатку и пробив 25 мм свежей костной ткани. Попади он в мягкие ткани, и копье пронизало бы бизона чуть ли не насквозь. Удар сверхчеловеческой силы, и объяснить его только физической мощью копьеметателя невозможно.

Рис. 5. Сцена с «мертвым» из пещеры Ляско, Франция

Известно несколько наскальных изображений охоты с копьем. Особенно интересен рисунок из грота Ляско во Франции (рис. 5). Как вы видите, на нем изображен раненный в брюшную полость, с выпавшими кишками бизон, и рядом — фигура лежащего человека. Тут же сломанное копье и загадочный предмет с фигуркой птицы на конце.

Есть две трактовки этого рисунка. Крупнейший французский археолог А. Леруа-Гуран видит в нем изображение неудачной охоты, завершившейся смертью охотника. Это портрет «первого тореадора», точнее матадора. Поверженный человек лежит, и душа его в виде птицы покидает тело.

Академик Б. А. ыбаков трактует рисунок куда более оптимистично. Он полагает, что охотник удачно поразил бизона, метнув копье с помощью копьеметалки. Палеолитическая копьеметалка обычно изготовлялась из кости или рога, часто изящно украшалась изображениями птиц или быстрых зверей (рис. 6, 7) и имела крюк на одном конце и отверстие для темляка — ременной петли на другом. Такие приспособления и их обломки археологи находили неоднократно.

Первобытный охотник вставлял крюк в выемку на нижнем конце копья, и, держась за темляк, с силой посылал его вперед и снизу вверх. Бросок осуществлялся всем телом, так что после него метатель сам пролетал по инерции пару метров и часто оказывался распростертым на земле.

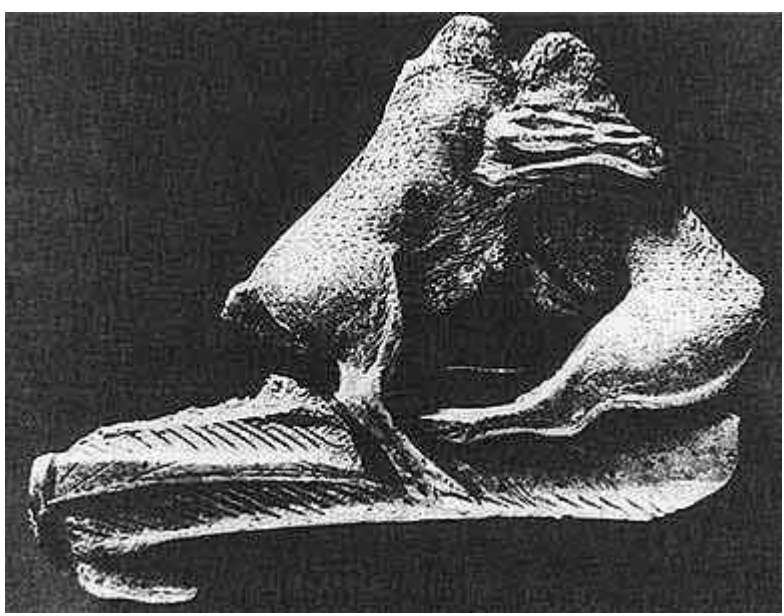


Рис. 6. Скульптура двух козлов на обломке копьеметалки. Пещера Трех братьев, Франция

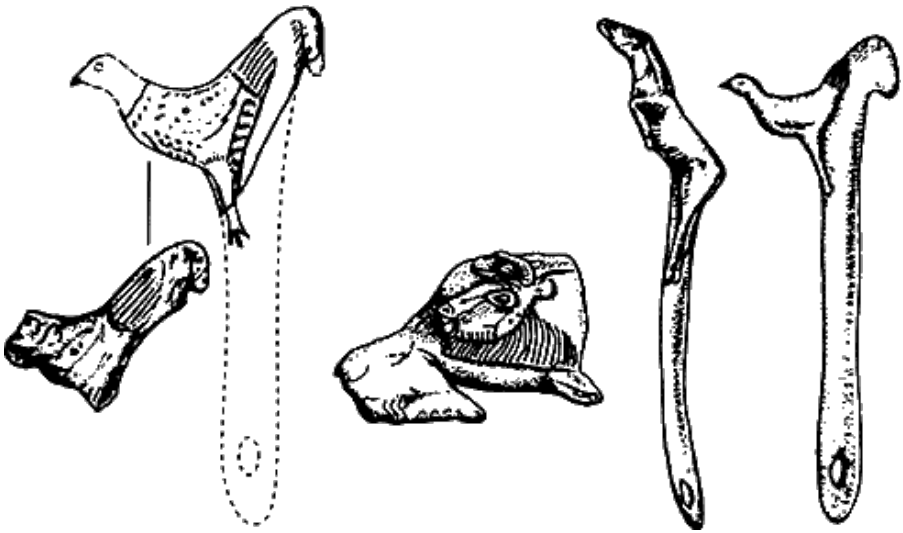


Рис. 7. Примеры украшенных фигурками анкетных и птиц копьеметалок

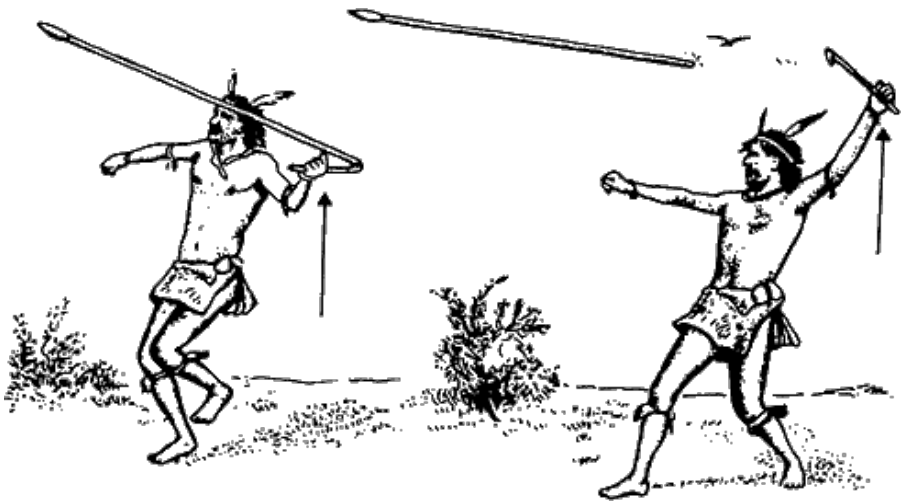


Рис. 8. Копьеметалки позволяли бросать копье дальше и быстрее (по Л. Л. и Ф. Ковалли-Сфорца)

Такой метод броска сохранился до исторического времени. Испанские конкистадоры в Мексике и Техасе еще застали индейцев, метавших копья с помощью атлатла — разновидности копьеметалки. Атлатл — полуметровый кусок твердого дерева с упором для копья. Как его применяли, показано на рисунке 8.

Было бы занятно воскресить эти броски — на меткость, силу и дальность в спорте. В конце концов, существуют же в нем прыжки с шестом и без, метание бумеранга и стрельба из лука.

Но для нас сейчас этот пример примечателен тем, что из него видно, как иногда трудно расшифровать информацию, которую нам передавали пращуры. Еще труднее восстановить древние обряды и ритуалы по остаткам культуры. И здесь на помощь приходит этнография — так же как сравнительная анатомия помогает палеонтологии.

Беспалые троглодиты. По-видимому, первыми пещерными «рисунками» были так называемые «макароны» или «меандры» — волнистые линии, нанесенные сразу несколькими пальцами или многозубчатым инструментом на глине или поверхности скалы (рис. 9, 10). Полагают, что это подражание грифадам — следам когтей пещерного медведя. Примерно тогда же появились и «руки» — отпечатки ладоней с расставленными пальцами (рис. 11). Среди них различаются позитивные (отпечаток руки, вымазанной краской, рис. 12) и негативные, когда приложенная к стене пещеры рука опрыскивалась изо рта жидкой краской (рис. 13).

Рис. 9. Группы параллельных ливий. Прочерчены пальцами по глине. Пещера Альтамира, Испания

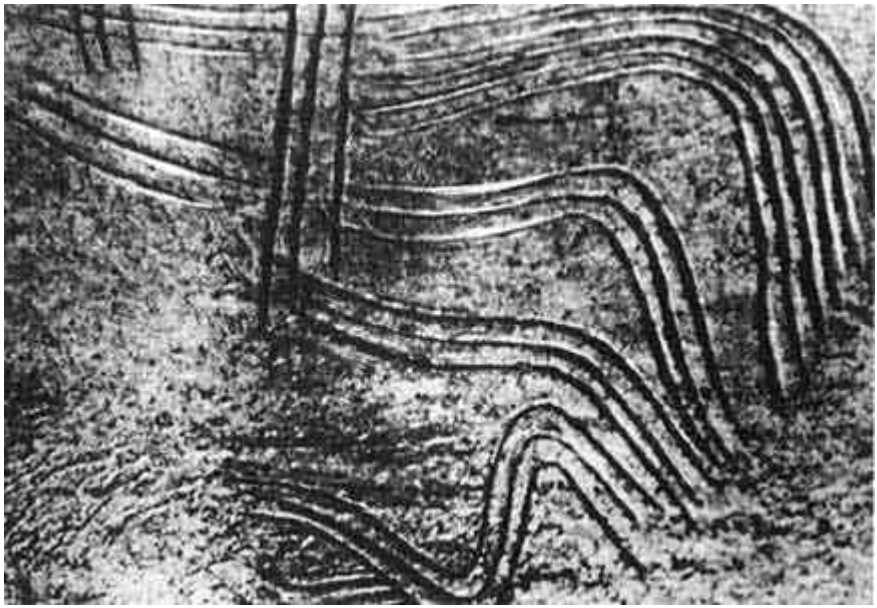


Рис. 10. «Макароны», прочерченные зубчатым инструментом по глине в пещере Хорнос де ла Пенья. Испания

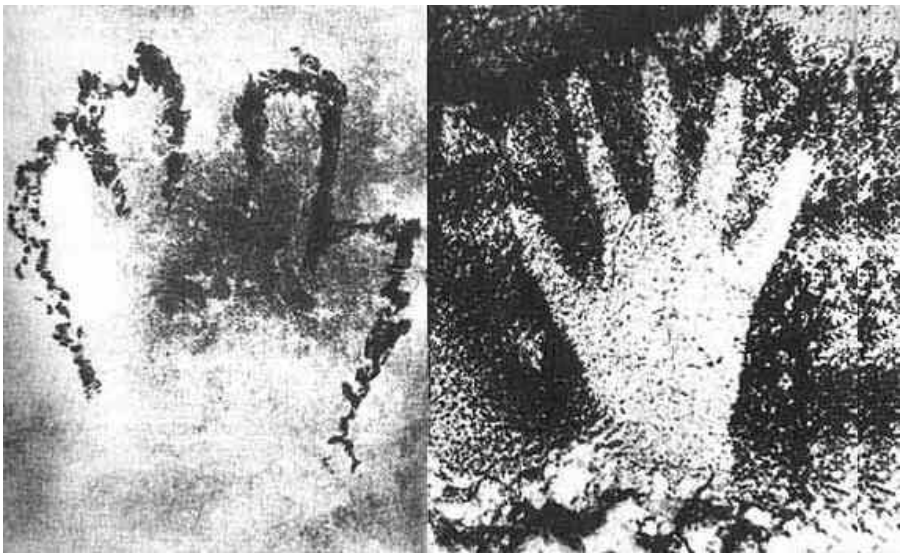


Рис. 11. Контур руки, выполненный прерывистой красной линией. Пещера Кастильо, Испания (слева)

Рис. 12. Позитивный отпечаток руки в правой части Большого плафона. Пещера Альтамира, Испания

Рис. 13. Фриз негативных отпечатков рук, контуров бизонов и дисков, выполненных красной краской. Пещера Кастильо, Испания

Для чего оставлялись эти отпечатки на стенах, можно только гадать. Первые подписи? Свидетельства участия в каком-то обряде, например, посвящении во взрослые? Отпечатки в пиренейских пещерах часто принадлежат детям и подросткам. Археологов и антропологов больше поразило другое обстоятельство. У многих отпечатков не хватало фаланг, а то и целых пальцев — от одного до четырех (рис. 14). Для чего пещерные люди калечили свои руки? Одни ученые полагали, что это *«символико-ритуальное увечье».* Сказано очень «по-научному», но что это увечье символизировало, какому ритуалу соответствовало, остается неясным. По другой точке зрения, никто рук вообще не калечил. Беспалость имитировалась подгибанием пальцев: в этом видели начатки письменного счета. Ведь есть мнение, что римские цифры — стилизованные изображения счета на пальцах. Эта гипотеза взывала к здравому смыслу предков — чего ради себя калечить, да еще в суровых условиях первобытного общества?

Вот только вправе ли мы приписывать предкам свое понимание прагматизма? Вполне возможно, что пращуры из пиренейских пещер мыслили по-своему.

Разъяснение дает этнография. Во многих первобытных обществах конца XIX и начала XX века сохранился обычай отрубать фалангу пальца или же весь палец по смерти родственника, вождя, а то и просто члена рода. В горных районах Новой Гвинеи этот ритуал жив и сегодня. Строго говоря, это не столько выражение скорби, сколько попытка умилостивить дух

родственника, который по смерти может причинить неприятности живым. Так что предки были не только чувствительны, но и прагматичны — только на свой лад.

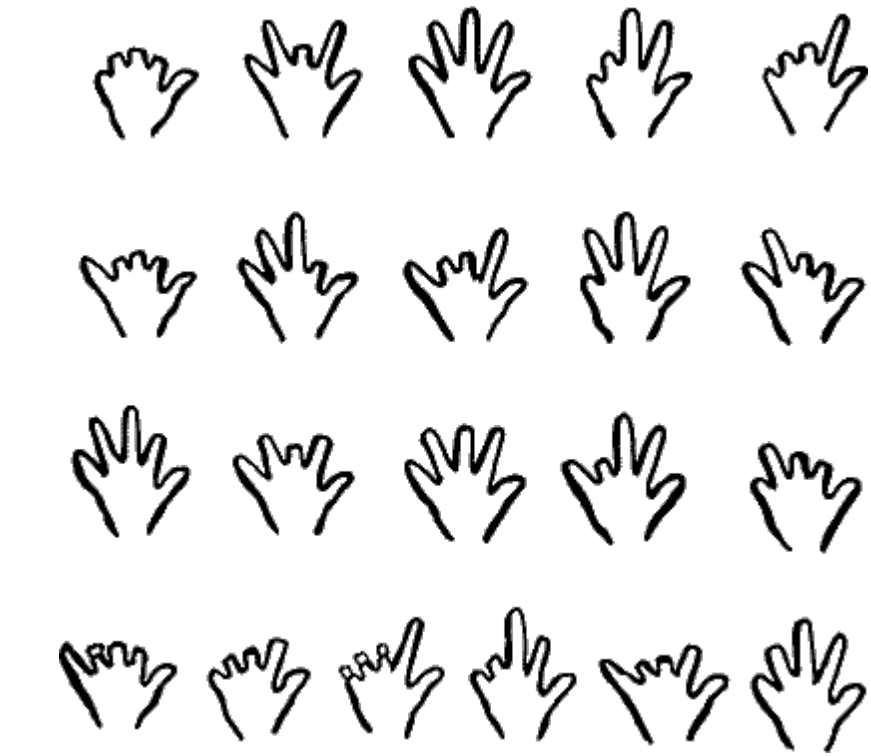


Рис. 14. Негативные отпечатки рук с недостающими фалангами. Пещера Гаргас (по Леруа-Гурану)

И в наши дни, по свидетельству датского путешественника А. Фальк-Рённе, в горных районах Новой Гвинеи *«всякий раз, когда у женщины случается горе, она отрубает фалангу одного из пальцев. Из-за этого обычая многие женщины к старости лишаются пальцев и становятся инвалидами».* Он же сообщил о случае, когда в последний день 1968 года в долине Балием потерпел крушение небольшой самолет; из экипажа и пассажиров остался живым десятилетний мальчик Поль Ньюмен. Его мать, отец, два брата и сестра погибли. Папуасы племени викбунов по горю мальчика догадались, кого он потерял, и хотели отрезать ему из лучших чувств крайние фаланги на пальцах. Однако один из вождей воспротивился: он уже видел белых, и ни у одного не было обрезанных пальцев, хотя кто-то из них, наверняка, пережил потерю близких. Поэтому спасители ограничились том, что намазали мальчику волосы священным свиным жиром, а на щеках навели ритуальные полоски цветной глиной (за год до того в этой

деревне съели двух миссионеров).

Отрубленные фаланги не просто выбрасывались: в развалинах храма Телль-Арпачая в Сирии (халафская культура VI тысячелетия до н. э.) найдена чаша из стеатита, в которой лежала одна фаланга человеческого пальца и пять таких же каменных (духи могли принимать и подделки; так в древнем Китае на похоронах сжигались условные жертвенные деньги. Подобные фальшивые жертвоприношения археологи называют вотивными). И у папуасов жертвенные пальцы хранились в специальных домах.

Вот еще пример расшифровки «первобытной» информации с привлечением данных этнографии.

История одного черепа. В первой половине II тысячелетия до н. э. на том месте, где сейчас Чарозерский район Вологодской области, на месте слияния рек Перечной и Модлоны было свайное поселение. Дома в нем были сооружены на бревенчатых помостах, которые на сваях возвышались над торфяным заболоченным берегом. Жители этого поселения охотились на лосей и бобров, стреляли стрелами с каменными наконечниками птиц, ловили рыбу. Они умели делать вполне приличные горшки из синей глины, любили носить янтарные украшения. Это, пожалуй, все, что мы о них могли бы узнать, если бы не одно обстоятельство.

Около дома, четвертого, если считать от конца мыса, когда-то был вбит ошкуренный сосновый кол, а на этот кол насажен человеческий череп. По всей видимости, череп был украшен чем-то вроде венца из бересты.

Мы бы, возможно, никогда не узнали об этой детали, не случись, тогда несчастного случая. По какой-то причине в поселке вспыхнул пожар. Бревенчатые хижины, стоящие близко друг к другу, сгорели и рухнули вместе с помостом. Подломился и обгоревший кол, так что череп упал на мусорную кучу рядом с домом. Люди не стали восстанавливать селение, и пожарище при подъеме поды быстро затянуло торфом.

Метровый слой земли лежал над остатками селения, когда туда пришли археологи. Раскопали они и череп, который попал к антропологу и археологу, анатому и скульптору Михаилу Михайловичу Герасимову. Тому самому Герасимову, который изобрел метод восстановления лица по черепу с такой точностью, которая удовлетворяет не только археологов, но и работников уголовного розыска.

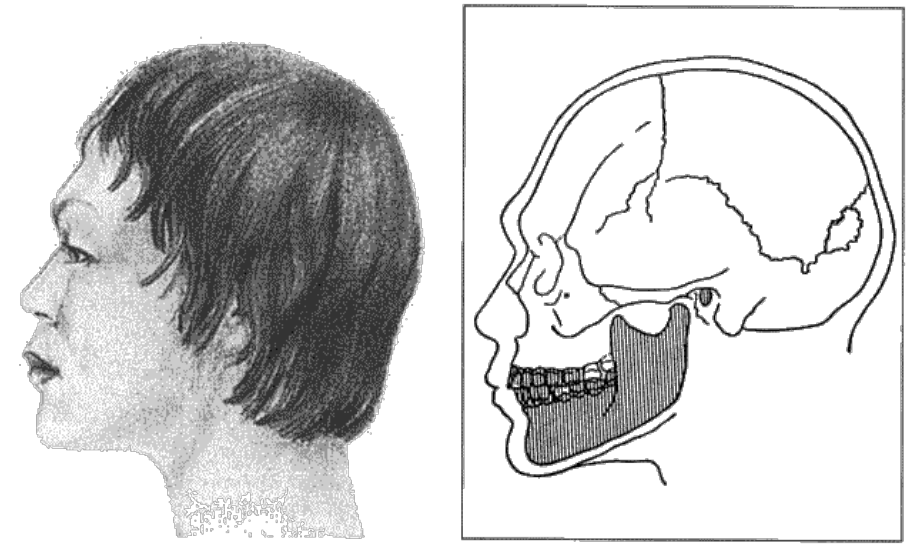


Рис. 15. Реконструкция по черепу женщины из Модлоны

Сама такая находка была удивительной. Предков, точнее, предшественников нынешних вологодцев, по-видимому, нет оснований обвинять в людоедстве. Хотя при разборе мусорных куч в них попадались мелкие обломки человеческих черепов (преобладали женские) и фаланг пальцев, они не носили следов огня или режущих и рубящих орудий. Вспоминается частокол вокруг избушки на курьих ножках, где проживала баба-Яга, усаженный человеческими черепами (кстати, по одному толкованию, курья — это заболоченный залив, место вполне пригодное для поселения на сваях). Но жила-то там не баба-Яга, а самые обыкновенные люди, охотники и рыболовы, доля крови которых, возможно, течет сейчас в наших жилах.

Может быть, это был череп побежденного врага? Ведь еще в 1793 году в Париже головы казненных аристократов выставлялись для всеобщего обозрения на пиках. Принять эту гипотезу мешало одно обстоятельство. Череп оказался женским; когда-то он был на плечах молодой женщины, не дожившей до 23-24 лет. Михаил Михайлович выполнил ее профильный портрет — это вполне современное, отнюдь не звероподобное, по-своему миловидное лицо европейского типа. Лишь модный сейчас разрез глаз говорит о наличии палеосибирского, монголоидного компонента (рис. 15).

Вот и загадка: почему эта молодая женщина была удостоена такого, с позволения сказать, погребения? Военным трофеем считать ее череп трудно: в таких войнах женщин не убивали.

М. М. Герасимов осторожно замечает, что эта находка — указание на какое-то событие или обычай. Справедливо, но

вопрос — какой обычай? В других памятниках ничего подобного нет, да и вряд ли найдется. Человеческие черепа находили в мусорных кучах, но сохранность соснового кола — чудо, обусловленное антисептическими свойствами торфа.

Нет ли похожего обряда у современных племен, которых наша пресловутая цивилизация застала на аналогичной стадии?

Я долго копался в литературе, пока не наткнулся на нечто подобное. Пьер Пфеффер, описывая быт даяков центральной части Калимантана (Борнео), упоминает схожий обычай, бытовавший до недавнего времени. Траур по умершему нельзя прерывать, пока в деревню не поступит новая голова человека из другого племени. Эту голову водружали на столб, украшали пальмовыми листьями. «кормили» вареным рисом и «поили» водкой. В эпоху межплеменных войн такие головы добывались убийством из засады, причем женщина с ребенком за спиной была редкой удачей (сразу две головы).

В бытность Пфеффера на Калимантане голов уже не отрезалиI. Деревня обменивалась с деревней черепами из старых запасов. Этнограф Я. В. Чесноков сообщает, что схожие обычаи существовали у многих племен Юго-Восточной Азии, относимых к аустроазиатам. Например, в племени Ва (Ассам и Бирма) охота за головами шла перед севом риса. Любопытно, что голову, даже мужскую, называли «девушкой». Воина, добывшего такую голову, просили показать ее, говоря: «Нам нужна твоя девушка, чтобы она защищала нашу местность, нашу деревню, чтобы наши посевы хорошо росли». Путешественники XIX века еще застали у таких деревень целые аллеи черепов на столбах с резьбой, изображавшей женские груди. Самыми ценными считались головы с длинными волосами.

Похоже, что это стадия кровавых поминок по матриархату, когда женщине еще приписывались магические свойства, но неприкосновенность она уже потеряла. Существовал ли подобный обычай у модлонцев? Утверждать наверняка нельзя, но предполагать, я думаю, можно.

Как распрямить бивень мамонта. Полагаю, что приведенные выше примеры могут убедить читателя в том, что древние мемофонды в какой-то мере восстановимы. Но далеко не всегда такие попытки оказываются удачными. Вот пример задачи, на мой взгляд, не решенной до конца.

Сенсацию среди археологов всего мира вызвало открытие под Владимиром у речки Сунгирь верхнепалеолитической стоянки с погребениями. Там были найдены длинные, совершенно прямые копья, вырезанные каменными орудиями целиком из мамонтовых бивней. Но ведь у мамонта бивни были сильно изогнуты. Значит,

1 тыс. лет назад люди могли каким-то способом размягчать слоновую кость, а затем, выправив, обращать в прежнее состояние?

Я приводил этот пример в одной из своих книг и получал письма. в которых читатели предлагают свои способы. Одна читательница вспомнила способ, каким ранее обезвреживали бодучих коров: им на рога насаживали горячие, свежевынутые из печи буханки хлеба. Разогретый рог размягчался, и его можно было искривить, загнуть назад и даже завязать узлом.

Слов нет, метод остроумный. Беда лишь в том, что бивни мамонта — не рога, а гипертрофированные зубы. Кстати, порой даже в научных сочинениях можно встретить выражение — «мамонтовые» или «слоновые клыки». На самом деле бивни слонов не клыки, а резцы (у слонов клыки вообще отсутствуют). Впрочем, археологи пытались размягчить слоновую кость нагреванием, но безуспешно, к счастью для всех нас. Ведь если бы зубное вещество размягчалось от высокой температуры, как бы мы ели горячую пищу или пили чай?

Польский археолог К. Журовский обратимо размягчал рог и кость выдерживанием в слабой кислоте вроде тертого щавеля или кислого молока и даже предложил формулу этой реакции. Хотя небольшие предметы из кости у него действительно размягчались, а потом твердели, ни один химик не согласится с таким объяснением. Фосфорная кислота гораздо сильнее органических, и трехзамещенный фосфат молочная кислота не превратит в однозамещенный. Химию этого процесса нам еще предстоит постичь. И еще вопрос: с какой скоростью размягчится двухметровое копье? Ведь это не костяная ложечка, размякшая в горчице, с которой Журовский начал свои эксперименты.

Так что будем считать, что загадка, которую нам задали сунгирские охотники на мамонтов, еще не решена. А ведь она допускает возможность решения наиболее эффективным методом — экспериментальным.

Многие другие стороны жизни древних людей, по-видимому, навсегда останутся для нас книгой за семью печатями. Что там древность: и сейчас находятся люди, утверждающие, что «Слово о полку Игореве» — стилизация XIX века и что шекспировские пьесы написаны не Шекспиром. Не теряйся информация в течение эволюции мемофондов, что бы оставалось делать историкам?

Пока в этих рассуждениях нет ничего принципиально нового. Как я уже писал, подобные аналогии приходили в голову многим. Вот хотя бы один из основоположников современной генетики Томас Хант Морган утверждал, что у человека есть два процесса наследственности — первый через половые клетки, второй путем

передачи опыта из поколения в поколение посредством примера, речи и письма (сигнальная наследственность или социальная преемственность).

Попробуем пойти дальше. Если механизмы эволюции в обоих каналах принципиально сходны, нельзя ли аналогию использовать как рабочий инструмент для решения ряда проблем, по которым до сих пор ведутся дискуссии? Начнем с самого простого — структуры сообщений в обоих каналах, пока не вдаваясь ни в смысл этих сообщений, ни в закономерности исторических процессов, которые в них происходят. А там доберемся и до большего.

Глава II.
О ДНК эгоистичной, паразитической, избыточной и мусорной

Порой мне приходится употреблять слово «информация» в журналистском понимании («информация к размышлению»). И каждый раз ловлю себя на том, что пишу и произношу его с неохотой. Это ведь ключевой термин новой науки — теории информации, и его нехорошо поминать всуе. Между информацией, которой посвящена одноименная теория, и расхожим толкованием этого слова общего столько же, сколько между философским понятием материи и той материей, из которой шьют брюки.

Меня коробят выражения вроде «организмы питаются информацией» или же «организмы заключают в себе запас информации». Это по меньшей мере неточно. Организмы не содержат информации: они слагаются из более или менее сложных структур, упорядоченных совокупностей элементов. Вот как раз сложность этих структур можно описать соответствующим объемом информации, и теория, ей посвященная, рассказывает, как это сделать.

Также нельзя говорить, что организмы «питаются информацией». Чужая информация, да и чужая структура, организму не нужна, он по мере сил борется с ней. В этом и заключается причина отторжения пересаженных органов и тканей. Всю сложность своей структуры организм создает сам — за счет химической энергии питательных веществ, как животные, и энергии света, как растения.

Но откуда он берет сведения о своей сложности? Вот тут-то термин «информация» становится необходим. Ведь этот термин, который в наше время у всех на языке и слуху, реже на уме, — характеристика не системы (скажем, живого организма или ежедневной газеты), а сигнала. Точнее, соотношения между передатчиком сигнала и его приемником:

передатчик → канал передачи информации → приемник

Отвлечемся, для начала, от материального воплощения сигнала — будь то радиоволны, звуковые волны, слова на бумаге, рисунки на камне или соответствующие сочетания нуклеотидов в нуклеиновых кислотах. Сначала поговорим о том, как можно измерить информационное содержание сигнала.

Основоположник теории информации К. Шеннон дал формулу, которая в настоящее время во всей человеческой деятельности играет столь же важную роль, как и эйнштейновская $E = mc^2$:

$$H = — k \Sigma pi \log(pi)$$

Здесь pi — вероятность состояния системы, о котором сообщается в сигнале, log(pi) — логарифм этой вероятности и k — коэффициент пропорциональности, т. е. постоянная, определяющая единицу измерения. H — принято называть энтропией источника сообщений, иногда просто информацией.

Эта формула очень похожа на формулу энтропии в статистической физике. Однако k там — константа Больцмана (1,37x10-16 эрг/градус). В теории информации принято двоичное исчисление и логарифмы при основании 2. Тогда k = 1 и единица измерения H — биты (сокращенное binary digits, двоичные единицы — не путать с байтами!). Один бит — столько информации содержится в ответе на вопрос: «Кто родился: мальчик или девочка?»

В передаваемой по каналу связи информации выделяются тексты, которые можно разбить на символы, и каждому символу придать значение (энтропия на символ).

Так, если бы в тексте на русском языке все буквы, включая знаки препинания и пробел между словами (32 символа), встречались с равной частотой, информационная емкость русского алфавита равнялась бы:

$$-\Sigma 1/32 \log 2 1/32 = \log 32 = 5 \text{ бит/символ}$$

Обычно она гораздо меньше. 5 бит/символ — это предельная величина. Но во всех реальных текстах символы встречаются с разной частотой, и энтропия обычно меньше, примерно в 2,5 раза, и приближается к двум битам на символ. Отсюда можно

подсчитать и объем информации в тексте. Например, в авторском листе (единице объема рукописей) 40 000 символов и, значит, 80 000 бит информации. Но опять же это верхний предел, эта цифра имеет значение для наборщика и корректора, но не читателя. Далее мы еще вернемся к этому.

А пока ответим на вопрос: откуда развивающийся организм берет сведения о своей сложности? Ответ однозначен — из своей генетической программы, из ДНК. В ДНК «генетический текст» закодирован четырьмя символами — аденином, гуанином, цитозином и тимином. При равной частоте встречаемости символов энтропия на символ равна:

$$H = -4(0{,}25 \log_2 0{,}25) = 2$$

То есть тексты, написанные русским языком, и текст нашей генетической программы обладают примерно равной информационной емкостью. В геноме каждого из нас содержится примерно 3,2x109 нуклеотидов; соответственно объем содержащейся в нем информации 6,4x109 бит. Любители считать могут прикинуть, библиотеке какого объема это соответствует, только пусть помнят, что в выходных данных книги указываются не авторские листы, а печатные.

Значит, им нужно сначала подсчитать число символов на страницу текста книги данного формата и умножить на число страниц. Но все эти подсчеты будут сугубо приближенные: и в случае с ДНК два бита/символ — недостижимый максимум.

Кроме того, надо учесть одно обстоятельство: чтобы превратиться в признаки и свойства организма, генетическая информация перекодируется, проходя по каналу:

$$ДНК \rightarrow РНК \rightarrow белок$$

Передатчик этой информации — хромосома, приемник — цитоплазма клетки, в которой синтезируется белок. А уж от набора белковых молекул и их количества зависит дальнейшая судьба клетки и всего организма.

Первый этап перекодировки ДНК → РНК не изменяет информационной емкости сигнала. Ведь нуклеотидный текст остается без изменения, только тимин заменяется на урацил. А

это тот же тимин, только неметилированный (без группы CH3). Зато перекодировка нуклеотидного текста информационной РНК в аминокислотную последовательность белка весьма существенна.

Сейчас и в школе учат, что одна аминокислота, точнее, один аминокислотный остаток в полипептидной цепи, образующей белок, соответствует трем нуклеотидам в информационной РНК. Возможное число сочетаний из 4 по 3 — это 43, т. е. 64 символа. Если бы в наших белках было 64 аминокислоты, то энтропия на символ равнялась бы:

$$H = -64(1/64 \log_2 1/64) = 6{,}1 \text{ бит}$$

Но три символа (тройки нуклеотидов, триплеты, кодоны) — бессмысленны, они аминокислот не кодируют. На них синтез полипептидной цепи обрывается, они соответствуют пробелам между словами в печатной речи и паузам — в устной. А аминокислот в белковом тексте всего 20, причем, каждая из них кодируется разным числом триплетов. Лейцин, серии, аргинин — эти буквы белкового текста кодируются каждый шестью триплетами, а метионин и триптофан — только одним триплетом каждый. Такой код называется вырожденным.

Аналогию можно найти и в человеческих языках. В старой русской орфографии звук **«эф»** выражался двумя символами — **Ф** и Ѳ (ферт и фита), звук **«и»** — тремя: **и**, **і**, (ижица). И в орфографиях других языков встречается вырожденность кода: например, англичане звук **«и»** выражают через **i** (в начале слов, заимствованных из других языков), через **e** (the evening, вечер), через дифтонг **ee** (the speed, скорость), через **ea** (dean, декан), через **y** (prosperity). Я не останавливаюсь здесь на делении гласных на краткие и долгие; для нас это сейчас не имеет значения. Как возникла в процессе эволюции вырожденность генетического кода — неясно. Может быть, на заре жизни аминокислот в белках было больше, чем сейчас? Впоследствии часть из них выпала, а их кодоны захватили другие аминокислоты, близкие по свойствам. Но это только гипотеза, если не спекуляция.

Вернемся, однако, к энтропии на символ для белкового текста. С учетом вырожденности кода эта величина, по моим давним подсчетам, равна 4,21 бит/аминокислотный остаток. Но это опять же с допущением, что все остатки в белке встречаются с одинаковой частотой. А это далеко не так. Если учтем данные по

аминокислотному составу белков, получается величина примерно в два раза меньшая — у меня получалось 2,17-2,38 бит. Разумнее все же считать эту цифру завышенной, так как я исходил из того, что, например, все шесть кодонов для аргинина встречаются с одинаковой частотой. Два бита на символ — величина, наиболее подходящая для белка.

А сколько белков может синтезировать наш организм? Решая эту проблему, исследователи столкнулись с парадоксом, получившим название «парадокса лишней ДНК» (она же «эгоистичная, паразитическая, избыточная и мусорная»). О ней-то сейчас и пойдет речь.

О преимуществе вируса перед человеком. Два обстоятельства, на мой взгляд, привели к тому, что значительная часть исследователей по сие время теряет время в пустых вычислениях и бессмысленных спорах.

Первое — то, что мы привыкли считать: ген — это та последовательность нуклеотидов в ДНК, которая кодирует белок. Отсюда стандартное изречение: один ген — один белок.

Второе — то, что по чисто техническим причинам изучение генетических программ и их перекодировки началось с простейших (бактерии) и сверхпростейших, упрощенных организмов (вирусы). А проще — с кишечной палочки и паразитирующих в ней бактериофагов и вируса табачной мозаики.

Исследование этих объектов вроде бы подтверждало прежнюю истину («один ген — один белок»). Правда, нашлись и исключения. Некоторые белки складывались из нескольких полипептидных цепей и кодировались, соответственно, несколькими генами. Другие гены кодировали не белки, а нужные для работы клетки нуклеиновые кислоты — РНК рибосомные и транспортные. Но это все было мелочью, и до сих пор многие полагают, что гены — это та ДНК, которая кодирует белки, а если она их не кодирует, то это не гены. А что же это тогда? Какую функцию выполняет ДНК, не находящая отражения в аминокислотных последовательностях белков?

Пока изучали простейшие объекты, от этой ДНК можно было отмахнуться. Геномы бактерий и фагов построены очень экономно. Там действительно почти каждая нуклеотидная последовательность находит отражение в аминокислотной последовательности белка. Более того, экономия генетического материала у вирусов доходит до того, что один ген может кодировать два, а то и три белка. Как это может получиться? Возьмем для примера кусочек последовательности информационной РНК, кодирующий всего три аминокислотных

остатка:

— УЦЦАЦГГАУ —

Это соответствует последовательности в белке:

— сер-тре-асп —

То есть, серин-треонин-аспарагиновая кислота. Тот же ген может быть прочитан со сдвигом на один нуклеотид вправо. Тогда получится совсем другой белок, в нашем примере эта часть будет означать про-арг-иле (пролин-аргинин-изолейцин). Код вирусов перекрывается, одна последовательность нуклеотидов читается по-разному в зависимости от начала считывания. У некоторых фагов отмечено даже тройное перекрытие. Гены высших организмов так экономно не построены, достоверных данных о перекрытии в них нет. Впрочем, геномы ретровирусов, к которым относится печально известный вирус СПИДа, способны к перекрыванию, а во многих геномах высших организмов имеются очень похожие на них последовательности.

Но это все-таки исключение из правила. В целом уже первые исследования показали, что наши геномы построены, по крайней мере на первый взгляд, чрезвычайно неэкономично. Как говорят, у них низкая плотность кодирования генетической информации. Образно выражаясь, геном вируса — речь спешащего спартанца, геном человека — речь заикающегося зануды.

Доказать это очень просто. Сколько белков может синтезировать организм человека? Около 50 тыс. (конечно, в самом грубом приближении). Нуклеотидов в геноме человека 3,2 млрд. Зная молекулярную массу «среднего» белка, нетрудно прикинуть, из скольких аминокислотных остатков он состоит, сколькими кодонами кодируется. Помножив на 50 тыс., мы придем к выводу, что не меньше 95% ДНК в геноме лишние. Более того, теперь мы уже точно знаем, что большая часть ДНК в наших геномах никаких белков не кодирует, с нее не считывается в обычных условиях информационная РНК, а если и считывается, то не находит отражения в аминокислотных последовательностях. Что же делает эта ДНК, какова ее функция?

Самый неожиданный ответ на этот вопрос рискнули дать

одновременно и независимо друг от друга У. Ф. Дулиттл со своей сотрудницей К. Сапиенса и классик молекулярной биологии Ф. Крик с Л. Орджелом в 1980 году.

Эпоха бранных слов. Какую же гипотезу они предложили? Теперь за ней устоялось название «гипотезы эгоистичной (selfish) ДНК». Суть ее заключается в том, что или вся ДНК, не перекодирующаяся в белок, или ее значительная часть не имеет смысла. Изменения в ней не затрагивают строение организма (фенетические признаки). Она размножается при каждом делении клеток, не принося организму пользы, но и не причиняя существенного вреда, существуя сама для себя. В геноме это нахлебник или паразит, умеющий довольствоваться малым.

Откуда же среди генов берутся такие эгоисты? Авторы этой концепции исходят из простых предпосылок. Уже давно известны способы, с помощью которых нуклеотидная последовательность, ранее существовавшая в единичном экземпляре, может размножиться, образовав десятки, сотни, тысячи и миллионы копий. Этот процесс назвали амплификацией (размножением).

Существует и обратный процесс — выпадение из генома последовательностей, в том числе и лишних, амплифицированных. Его назвали делецией. Нетрудно сообразить, что, если скорость амплификации последовательностей хоть немного превысит скорость делеции, геном быстро переполнится копиями генов, которые для существования организма попросту не нужны. Разумеется, это не может длиться бесконечно. Как только геном клетки переполнится паразитами, начнет действовать отбор. Медленно растущие носители паразитарных последовательностей будут им отсеиваться. Но сторонники эгоистичной ДНК полагают, что энергетические расходы клетки на содержание ненужной ДНК не столь значительны.

В этом я сомневаюсь. Энергии на синтез уходит, действительно, не так уж много. Но нужен и строительный материал для нуклеотидов. Для чего же мы удобряем растения азотом и фосфором? Уже давно известны не очень хорошо вписывающиеся в классическую генетику факты, что некоторые растения, например махорка, в условиях азотного и фосфорного голодания резко снижают количество ДНК на ядро.

Тут вполне уместна такая аналогия: хотя качество работы нашей полиграфической промышленности оставляет желать лучшего, мощность ее вполне достаточна, чтобы наделить каждую семью в Союзе не только последними детективами, но и полным собранием сочинений Достоевского. Только где бумагу взять? Впрочем, подобные соображения не смущали изобретателей

«эгоистичной» ДНК. Статьи по теоретической генетике зарябили формулами, описывающими ее поведение в геноме. Эти дифференциальные уравнения были вполне правильными, да и не столь уж новыми. Схожими уравнениями популяционные генетики описывали изменения частоты генов в популяциях. Еще раньше были известны близкие уравнения Лотка-Вольтерра, описывающие колебания численности хищников и жертв.

Но если уравнения правильные, из этого отнюдь не вытекает верность исходных предпосылок. Ведь математика, подобно жернову, перемалывает все, что в нее засыплют. Но теоретики не дремали: появились расчеты, доказывающие, что «эгоистичные» последовательности, раз возникнув, могут закрепляться в геноме, *«даже если их влияние на приспособленность особей в значительной степени отрицательно».*

Термин «эгоистичная» ДНК в общем-то не нов, раньше была в ходу ДНК «избыточная» и «ненужная». Теперь ее называли «паразитической» и «мусорной» (junk). Чуть ли не комплиментом звучал термин «несведущая» ДНК (она же «невежественная»). Так называли последовательности, которые в принципе могли выполнять какую-либо деятельность независимо от состава.

Увлекшиеся теоретики не замечали, что грешат против логики. Они требуют доказательств функционального значения ДНК, не кодирующей белок, принимая ее бесполезность как нуль-гипотезу. А на деле обе концепции, пока не получено экспериментальных данных в пользу той или иной, вполне равноправны.

Мне это напомнило давний мой спор с одним коллегой — антидарвинистом, к сожалению, ныне покойным. Он отрицал полезность окраски белого медведя. С его точки зрения, чтобы доказать это, нужно достаточно представительную выборку, скажем 100 или 200 медведей выкрасить в красный или зеленый цвет, а затем выпустить в природу и проследить, снизилась ли у них вероятность выжить и оставить потомство. Он тоже принимал бесполезность, нейтральность структуры за нуль-гипотезу. Я в свою очередь постулировал «презумпцию приспособительности» — пока не будет доказано обратное. Так мы и не смогли убедить друг друга ни в чем.

Здесь ситуация та же, только речь идет о признаках не фенотипа, а генотипа.

В результате у многих молекулярных генетиков сложилось представление о геноме высших, ядерных организмов — эукариот, на мой взгляд, довольно дикое. В их представлении геном, например, человека — куча мусора, в которой ползают паразиты. Это так называемые «прыгающие гены» — мобильные,

подвижные последовательности ДНК — потомки вирусов. В эту же массу, как жемчужные зерна в кучу навоза, вкраплены «настоящие» гены, т. е. кодирующие белки и РНК.

Как говаривал друг Винни-Пуха ослик Иа-Иа — «душераздирающее зрелище»! Геном бактерии построен куда рациональнее. Тогда что же такое прогресс?

Моя точка зрения на эту проблему проста: с получением новых экспериментальных данных термин «мусорная» будет применяться не к ДНК, а к той литературе, где он всерьез употребляется. Это я говорил еще в 1980 году, прочитав знаменитый номер «Nature», говорю и сейчас — с гораздо большим основанием. А тогда единственным моим доводом была аналогия с передачей лингвистической информации, и ссылаться приходилось только на самые общие положения теории Шеннона.

Дело в том, что в любом канале передачи информации существуют помехи. Канал без помех — такая же невозможная абстракция, как и двигатель со 100% КПД. Поэтому сигнал на пути от передатчика к приемнику искажается — порой настолько, что не может быть использован в практической деятельности. Информация, в общем, просто теряется, обращаясь в шум. Один из законов Шеннона это постулирует: в процессе передачи информация может только теряться, но не увеличиваться. Этот закон — точный аналог второго начала термодинамики, согласно которому энтропия замкнутой системы может только возрастать.

И в нашем случае возрастает энтропия передаваемого текста и энтропия на символ. Например, энтропия на символ в диктанте второгодника существенно выше соответствующей величины для орфографического словаря. Чтобы сохранить информацию в сигнале, необходимо построить его таким образом, чтобы он был помехоустойчивым.

И теория связи, придуманная людьми, и те закономерности, по которым формирует свои сигналы живая природа, предусматривают немало способов повышения помехоустойчивости информационных каналов. Все их нельзя рассмотреть в общедоступной книге. Но важно подчеркнуть одно — все они в той или иной мере сводятся к удлинению сигнала, увеличению времени его передачи — короче, к понижению плотности кодирования генетической информации. К чему это сводится на практике?

Письмо капитана Гранта. Полагаю, в детстве все вы читали захватывающую историю Жюль Верна, которая начиналась с того, что в брюхе акулы была найдена бутылка, а в той бутылке — три записки. Море смыло часть текста, но можно было догадаться, что они написаны на разных языках — английском, немецком и

французском. Остаток английского текста гласил:

> *… 62… Bri… gow… sink… stra… aland… skipp… Gr…… that monit… of long… and… ssistance… lost…*

То же на немецком:

> *… 7 Juni… Glas… zwei… atrosen… graus… bringt ihnen…*

Видимо, Жюль Берн знал немецкий хуже английского. По той же причине лучше всего сохранился французский текст документа:

> *… troi… ats… tannia… gonie…austral… abor… contin… pr… cruel… indi…jete… ongit et 37°11'… lat…*

Казалось бы, немного. Но герои романа во главе с Жаком Паганелем в конце концов, ошибаясь и в процессе кругосветного путешествия исправляя ошибки, уверенно восстановили текст, за исключением одного слова. Вот как выглядел текст в переводе на русский язык:

> *«**27 июня** 1**862** года **трех**мачтовое судно **«Британия»** из **Глазго потерпело крушение** в тысяче пятистах лье от Пата**гонии**, в **Южном** полушарии. **Два матроса** и **капитан Гр**ант добрались до острова **Табор**. Здесь, **постоянно** терпя **жестокие лишения**, они бросили **этот документ** под 153° дол**готы** и **37°11" шир**оты. **Придите им** на помощь".*

Я подчеркнул те слова и части слов, которые сохранило море. Чем для нас примечательна эта выдуманная история? Прежде всего, тем, что текст повторен трижды. Будь копии одноязычными, результат был бы тот же: помехоустойчивость сигнала возросла бы. Примечательно, что Паганель споткнулся на слове «Табор» — оно имелось только во французском тексте и, значит, не обладало трехкратной избыточностью. Впрочем, будь оно расшифровано, героям романа не пришлось бы совершать кругосветное плавание, и роман вообще бы не состоялся.

Сопоставим это с тем фактом, что каждый из нас имеет двойной, диплоидный, набор генов — от отца и от матери. Как говорят генетики, наши организмы на всем протяжении развития от оплодотворенной яйцеклетки, зиготы, находятся в диплофазе. Только наши гаметы — спермии и яйцеклетки гаплоидны, имеют один набор генов.

Но это не общий для всей природы закон. Высшие растения имеют две стадии развития — гаплофазу и диплофазу. Но и у них гаплофаза редуцирована и, в конце концов, паразитирует на диплофазе, являясь частью цветка. Мужской гаплоидный организм цветковых состоит всего-то из трех клеток (пыльцевое зерно). А многие простейшие, грибы и водоросли на протяжении большей части жизни живут в гаплофазе. У них диплоидна только зигота. Гаплоидны и бактерии.

Какой вывод можно сделать из этого? По-видимому, дублирование, а то и многократное повторение генетической информации необходимо для прогрессивной эволюции. И необходимо именно потому, что повышает помехоустойчивость. Если генетический текст повторен трижды, возникают триплоиды. Они бесплодны при половом размножении, но отличаются мощностью роста, высокой жизненной устойчивостью. Таковы гигантская триплоидная осина, бессемянный культурный банан и многие другие сорта растений, а также триплоидные земноводные и рыбы.

Но это не единственный вывод, который можно сделать, анализируя с точки зрения теории информации письмо капитана Гранта. Возьмите русский перевод. В нем 48 слов, из коих можно восстановить 25. Но для понимания смысла текста многие слова лишние, такие как *«трехмачтовое судно», «в тысяче пятистах лье от Патагонии»* (обрывок последнего слова вынудил Гленарвана со спутниками пересечь Анды и пампасы), *«в южном полушарии»* (моряк так бы не написал, он ограничился бы аббревиатурой Ю. Ш., точнее s.l.), *«здесь они бросили этот документ».* Так что для понимания смысла достаточно было 32 слов, многие из которых восстанавливаются по обрывкам: *Bri, gow, stra, aland, contin, indi… ongit* и т. д.

Получается, что многие символы в тексте письма лишние? Ведь и без них можно обойтись?

Да, лишние. А значит, следуя логике авторов модной гипотезы, их бы следовало назвать «эгоистическими, паразитическими, мусорными» и т. д.

Вы скажете, конечно, что здесь что-то не так. Вот мы и подошли к важному выводу теории информации: все человеческие языки построены со значительной избыточностью. Как оценить степень этой избыточности? Абсолютно точное определение этой величины нереально, хотя бы потому, что избыточность — свойство не языка, а написанного на нем текста. Но, сопоставив много разных текстов, мы можем вывести нечто среднее, характеризующее язык, что-то вроде средней температуры по больнице. Метод определения доступен каждому.

Его можно назвать хотя бы методом Паганеля, а суть его — моделирование письма капитана Гранта.

В такую игру удобнее играть вдвоем. Один, по возможности случайно, выбирает кусок текста, неизвестного партнеру. Достаточно примерно тысячи знаков. Затем, пользуясь таблицей случайных чисел, из него вычеркивают 10, 20, 50 и т. д. процентов знаков. Второй игрок должен текст восстановить. Так определяется избыточность текста, выражающаяся в процентах «лишних» символов, без которых задачу можно решить. Хорошо для этой цели использовать персональный компьютер.

Подобные опыты, проведенные в разных странах, на разноязычных текстах, дают близкие цифры: примерно до 80% символов в лингвистической информации оказываются лишними. Мы могли бы говорить и писать в пять раз экономнее — но сколько времени мы бы тогда тратили на расшифровку сообщения?

В принципе, возможно построить совершенно безызбыточный язык, так называемый оптимальный код. В нем каждое случайное сочетание букв означало бы осмысленное слово. Но пользоваться им было бы невозможно. Как в свое время заметил И. А. Полетаев, *«никакой аптекарь не рискнул бы выполнить рецепт, написанный типичным врачебным почерком, если бы ошибка в одной букве меняла слово «аспирин» на слово «стрихнин»».* Да и жизнь машинисток и наборщиков, телеграфистов и редакторов была бы сплошным мучением.

Конечно, в одном и том же канале можно встретить разные по избыточности тексты. Хорошо бы таким способом сравнить плотность информационного содержания в текстах, например, Хемингуэя и Проскурина. Убежден, что не только теория информации, но и теория литературы почерпнула бы от таких экспериментов немало полезного. Напомню, что Проспер Мериме, отчаявшись перевести пушкинский «Анчар» на французский язык, сделал это по-латыни. Значит ли это, что французский язык избыточнее русского? Вряд ли: в стихотворениях хотя бы Франсуа Вийона плотность информации не меньше пушкинской:

На помощь только враг придет,
Лишь о святом дурная слава,
Всего на свете горше мед,
И лишь влюбленный мыслит здраво.

Но оставим это литературоведам и перейдем к специальным языкам. Строго говоря, к ним нельзя применить это название. Специальные языки — это способы построения текстов,

подлежащих передаче по каналу со специфическими свойствами, например, при наличии высокого уровня помех. Особенно часто они используются там, где ошибка в расшифровке сообщения стоит чересчур дорого. С этой точки зрения для нас наиболее интересен язык аэродромных диспетчеров, на котором они общаются по радио с пилотами взлетающих и идущих на посадку самолетов.

Соответствующие исследования показали чудовищную избыточность языка диспетчеров — до 96%! Только столь низкая информационная плотность сигнала позволяет преодолеть высокий уровень помех. И хорошо, что никому в голову не приходит объявить 96% слов в радиопереговорах лишними, мусорными и наказывать пилотов и диспетчеров за многословие.

А каковы условия передачи генетической информации? Не надо забывать, что она передается на молекулярном уровне. Лучше всего эти условия охарактеризовал С. Э. Шноль: *«Молекулярная машина существует в оглушительном тепловом шуме, „целесообразные“ движения ее деталей происходят среди теплового беспорядка и являются статистическим итогом разнонаправленного „броунирования“».* Впервые об этом сказал Н. И. Кобозев, рассматривая принципы действия молекул ферментов. Но они полностью применимы и к действию генов. Ведь и синтез РНК на ДНК (транскрипция), и синтез белка на РНК (трансляция), и синтез ДНК на ДНК (репликация) — все это химические реакции, катализируемые ферментами. Львиная доля мутаций — изменений структуры наших генетических программ — определяется именно тепловым шумом — хаотическим движением молекул в клетке. С точки зрения теории информации он полностью аналогичен шуму в репродукторе приемника (тот вызывается тепловыми флуктуациями электронов в цепях усилителя).

Согласно теории Шеннона любой механизм повышения помехоустойчивости информационного канала неизбежно приводит к повышению избыточности текста. Стоит ли удивляться, что избыточность наших генетических программ столь велика? И имеем ли мы право называть избыточную ДНК эгоистичной и паразитической?

Иное дело — выяснить, каковы механизмы, с помощью которых избыточность генетического текста превращается в его помехоустойчивость. Несомненно, их несколько. Далеко не все мы успели установить. Наконец, вряд ли мы найдем здесь полную аналогию с каналами передачи мемофондов: слишком уж различается материальная основа обеих каналов. Но на некоторых следует остановиться особо, потому что анализ их

приводит к любопытным и важным выводам. Прежде, однако, рассмотрим структуру самих генетических текстов.

Как устроены наши программы. С чего начинает исследователь, если ему в руки попадает закодированный на неизвестном языке текст? Сначала он определяет, сколько в нем знаков (символов, букв), и какова частота встречаемости каждого знака по отдельности и в сочетаниях с другими. Большой удачей считается на этой стадии выявить символ, обозначающий пробел между словами. Но его может и не быть. Древние римляне и греки, средневековые новгородцы писали без пробелов. Вообще открытие пробела было своего рода революцией, чуть ли не вдвое повысившей скорость считывания информации.

Далее наш дешифровщик будет стараться найти устойчивые группы, устойчивые сочетания знаков (слова), которым он будет приписывать какой-либо смысл. На этой же стадии выявляется тип языка — имеет ли он флексии, каковы закономерности изменения начал и окончаний слов, и так далее. Теперь, в эпоху компьютеров, подобные работы проводятся относительно быстро — при условии, что исследуемый текст достаточно велик. Этрусский язык, например, до сих пор не расшифрован, потому что в распоряжении исследователей имеются лишь короткие, неинформативные надгробные надписи.

Казалось бы, этот метод вполне подходит для дешифровки текстов на языке ДНК. К сожалению, перед молекулярными биологами встали трудности, неведомые этрусскологам.

Еще двадцать лет назад мы практически не умели читать ДНК-тексты. Было известно лишь, что они «написаны» 4-буквенным алфавитом (А, Т, Г, Ц) и что аминокислоты в белках и пробелы между белковыми «словами» кодируются сочетаниями из этих четырех букв по три. Даже сейчас, когда прочитаны уже миллионы этих букв, в распоряжении расшифровщиков нет ни одного достаточно представительного куска сообщения (ведь в геноме человека 3,2 миллиарда букв). И, тем не менее, о структуре наших программ мы знаем уже немало. Молекулярным биологам помогло то, что ДНК — двойная спираль комплементарных друг другу последовательностей. Между собой нуклеотиды в последовательности связаны довольно устойчивыми фосфодиэфирными связями. А сами цепи ДНК в двойной спирали скрепляются так называемыми водородными связями, неустойчивыми уже при высокой (100°) температуре или pH ~ 11. Используя один из этих факторов, ДНК можно разделить на две комплементарные половинки (денатурировать). Если понизить температуру или pH, начинается обратный процесс — ренатурация. Комплементарные половинки находят друг друга и

восстанавливают двойные спирали. Денатурируя и отжигая ДНК, предварительно «поломанную» ультразвуком на куски разной длины, исследователи пришли к важнейшим выводам о структуре генетического текста — не прочитав пока ни единой буквы!

Прежде всего, чем более разнородны последовательности в геноме, тем медленнее идет реассоциация, отжиг. Это вполне понятно. Хотя тепловое движение молекул осуществляет миллионы сталкиваний половинок ДНК в секунду, в большой совокупности генов далеко не каждая одноцепочечная ДНК сталкивается с комплементарной половинкой. Грубо говоря, чем больше обуви в прихожей, тем труднее найти башмак под пару.

И сразу ДНК высших организмов, имеющих оформленное ядро, преподнесла сюрприз. Часть ее (до 10%) ренатурировала крайне быстро, как простая, содержащая мало генов ДНК вирусов. Другая (20-30%) — отжигалась медленнее, в зависимости от концентрации многими часами. И, наконец, для отжига, восстановления двойной спирали 60-70% ДНК требовалось несколько суток.

Объяснить этот факт можно было так: в ДНК эукариотных организмов имеются три переходящие друг в друга фракции:

1) *Высокоповторяющиеся* (до нескольких миллионов раз) последовательности — ВПП. Именно потому, что они представлены сотнями тысяч и миллионами копий, их комплементарные половины быстро находят друг друга при отжиге. Обычно они состоят из коротких единиц, следующих друг за другом тандемом, как вагоны в поезде. Белков они не кодируют, и что они делают в геноме — неизвестно. Высказывались предположения, что именно они ограничивают скрещивание между особями, принадлежащими к разным видам, однако доказать это пока не удалось. Любопытно, что создатель теории «эгоистичной» ДНК Дулиттл не считает их «эгоистами». По его мнению, это «невежественная» ДНК, т. е. такая, которая выполняет пока неясную нам функцию только своим наличием, независимо от содержания. То есть, ВПП нужны в хромосомах как инертный наполнитесь, вроде сахара в лекарственных таблетках.

2) *Средние повторяющиеся* последовательности (СПП). Число их копий в геноме колеблется от десятков тысяч до сотен тысяч. Между этой фракцией и предыдущей нет резкой границы: например типичный средний повтор ДНК человека Alul представлен в наших

геномах 300 тыс. копий и более. На мой взгляд, это самый интересный класс ДНК, позволяющий строить практически неограниченное число спекуляций. Именно СПП, во всяком случае значительную часть их, обвиняют в эгоизме.

3) Наконец, *уникальные* последовательности (УП). Судя по названию, они представлены в геноме (гаплоидном) только один раз, во всяком случае, не более десяти. Большинство структурных генов, кодирующих белки, относятся к этому классу. Но хотя доля их во фракции очень мала, УП в геномах высших организмов в 10-100 раз больше, чем нужно для того, чтобы записать информацию о всевозможных белках. Что же делают остальные УП?

Часть их удается «пристроить» в качестве так называемых спейсеров-разделителей, разобщающих структурные гены. Но спейсерами бывают и СПП. «Эгоистичными» их тоже назвать нельзя: согласно этой теории гены-эгоисты защищаются от вырезания из хромосом и сохраняют свой состав. К большей части УП обычно применяют термины «мусорная» и «мертвая», иногда «умирающая» ДНК.

Все это далеко не так просто, и вот почему. У ядерных организмов и архебактерий структурные гены имеют сложное строение. Куски ДНК, кодирующие аминокислотные последовательности (экзоны), перемежаются последовательностями, не кодирующими ничего (интронами). При созревании информационной РНК интроны вырезаются специальными ферментами и отбрасываются, а экзоны сшиваются другим ферментом — лигазой в зрелую РНК, на которой может транслироваться белок. Интроны дружно объявили ненужными частями гена — ведь белка они не кодируют! Но этому мешает одно неприятное обстоятельство.

В УП часто встречаются точные копии структурных генов разных белков, но они не содержат интронов. Как они возникают, в общем, неясно. Скорее всего, это ДНК-копии информационных РНК, встроившиеся обратно в геном. Так делают ретро-вирусы, в том числе знаменитый СПИД. Но РНК ретровирусов содержит интроны и, включаясь в геном в виде ДНК, остается активной.

А безинтронные копии генов неактивны. На них не идет синтез РНК, белков они не вырабатывают. Потому их назвали лжегенами — псевдогенами. Что же, получается, что ген теряет активность, если из него вырезать ненужные части?

Но, может быть, в категорию «мусорной» и «мертвой» ДНК

следует отнести псевдогены? Так, в общем, считает большинство теоретиков. Экспериментаторы не столь единодушны. Есть факты, которые никак не запихнуть в мешок модной гипотезы.

Возьмем хотя бы ген глобина «дельта». Этот ген активен у низших обезьян Нового Света (широконосых). У более высокоразвитых узконосых обезьян Старого Света, таких как мартышки, макаки, павианы, нет гемоглобина «дельта» — но ген, кодирующий эту форму белка, есть. Однако у него нет интронов, он неактивен и попадает в категорию псевдогенов. Казалось бы, ясно: ген «умер», попал в разряд «мусорных». Однако у человека он обретает интроны и вновь становится активным. Так что же такое псевдогены — свалка мусора или запас на будущее, так сказать «гены в творческом отпуске»?

Есть и более странные факты. Один и тот же ген в мозговой ткани активен и нарабатывает белок. А в почках он же представлен безинтронным псевдогеном.

Полагаю, что нужно воздержаться от преждевременных суждений и бранных эпитетов, пока мы не разберемся до конца в этой сложной ситуации. Думаю, что, пока выйдет в свет эта книга, многое уже будет ясно.

А пока посмотрим, не поможет ли нам, хотя бы в построении гипотез, аналогия с лингвистическими текстами.

Монморенси — последовательность уникальная. Еще 10 лет назад в статьях по структуре генома были модными графики, по которым можно было определить распределение нуклеотидных последовательностей по скорости отжига, реассоциации. На оси абсцисс (ось X) у них обычно откладывалась не скорость реассоциации, а величина c0t — произведение начальной концентрации денатурированной ДНК на время отжига. А так как эта величина в одном геноме изменяется на пять порядков, давали ее логарифм.

Читается c0t как «це-ноль-тэ», но на лабораторном жаргоне говорили — «кот» («мы отожгли ДНК до ста котов»). Жаргонное словцо хорошо свидетельствует о популярности метода. В самом деле, при равных объемах геномов c0t связано с копийностью (числом повторов) прямой зависимостью.

На оси ординат (ось Y) откладывали процент данной фракции в геноме, только шкала была перевернута.

Эти так называемые кривые кинетики реассоциации сыграли свою роль, да и сейчас часто используются. Вспомнил я о них вот по какой причине. Любой человеческий язык несколько условно можно трактовать как состоящий из двух категорий слов (или частей слов). Первая категория состоит из слов, за которыми стоят какие-то объективные реалии. Это корни существительных,

прилагательных и глаголов.

Вторая категория — флексии, предлоги, приставки, артикли, окончания — то, что придает смысл корням, но без них самих смысла не имеет. С другой стороны, один корень без соответствующих «добавок» становится невразумительным. Например, что значит английское слово strike? Не спешите с ответом. The strike — забастовка (существительное). A to strike — бастовать (глагол). Отдельно же взятый артикль ни о чем не говорит, как и частица to.

А если в генетических текстах структурные гены выполняют функцию корней слов первой категории (ведь за ними стоят реалии — аминокислотные тексты белков), а повторы и некодирующие белков УП играют роль слов второй категории? Тогда станет ясно, что они столь же необходимы в ДНК-тексте, как и структурные гены. Попробуйте в разговоре и письме обойтись одними корнями.

Эгоистичность повторов иногда доказывают таким доводом: у вида А такой повтор есть, а у вида Б нет. Значит, он не нужен.

Аналогичное рассуждение: в немецком языке есть артикли, характеризующие род существительного. Родственные артикли в английском превратились в детерминативы существительных (категория рода в английском языке отмирает). А в русском языке артиклей нет вообще, они не нужны. Значит ли это, что они не нужны и в немецком, английском и французском языках?

Вопрос мой явно риторический. Приведу пример из мемуаров французского подводника Ж. Уо. Погружаясь в батискафе с директором биостанции Вильфранш Трегубовым, русским по происхождению, Уо сокрушенно называет его блестящим собеседником, по непонятной причине опускавшим решительно все артикли. Сорок лет прожив во Франции, он так и не привык к ним — по той причине, что в русском языке их заменяют другие вспомогательные слова.

Такие соображения привели меня лет десять назад к идее одного эксперимента (если его можно так назвать). Я взял английский текст (первую главу из общеизвестной книги Д. К. Джерома «Трое в одной лодке…») и на досуге выписал из нее все слова, определив частоту их встречаемости. А затем построил график, аналогичный кривой кинетики реассоциации ДНК — только вместо c0t взял частоту встречаемости слов в тексте.

Получилась довольно наглядная кривая, которую коллеги принимали именно за этот образец. Четко выделились высокоповторяющиеся последовательности (the, a, an, to), средние повторы (in, on, into, — ing). И, наконец, уникальные. Туда же попал и Монморенси — ведь кличка знаменитого фокстерьера

встречается в первой главе только один раз.

Почему я взял англоязычный текст? С ним легче работать, легче отстраниться. Сейчас я думаю, что русскоязычный дал бы еще более четкую картину — за счет флексий. Человек, владеющий персональным компьютером, был бы способен на анализ более протяженных и сложных текстов, и аналогия выступила бы еще нагляднее.

Повторяю, аналогия не доказательство, а лишь повод для выдвижения гипотезы (или спекуляции, если хотите). Структурный ген, кодирующий белок, — это только корень слова. Он обретает смысл лишь при взаимодействии с другими последовательностями, которые играют роль вспомогательных слов в языке. Вирусы и отчасти бактерии практически не имеют повторов в своих простых геномах. Их «язык» напоминает, если хотите, тот язык, на котором говорил Тарзан в некогда популярных фильмах. Но закодировать на нем достаточно большой объем информации о построении сложного фенотипа невозможно.

Опираясь на этот нехитрый эксперимент, я мог уже целеустремленно искать в литературе сведения о функциональной роли повторяющихся последовательностей и тех механизмах, которые обеспечивают помехоустойчивость генетических сообщений.

Но это уже другой вопрос, тема следующей главы. До сих пор мы говорили о статике, о структуре генетических сообщений. В следующей главе придется говорить и о динамике, об эволюции генетических текстов — начиная с момента происхождения жизни.

В заключение хочу оговориться. Я отнюдь не считаю все последовательности ДНК функционально значимыми. Подобно тому, как все организмы имеют так называемые рудиментарные органы, ныне бесполезные, но свидетельствующие об их истории, так и их геномы могут содержать реликтовые последовательности, гены-рудименты, не играющие сейчас никакой роли или очень мало значимые. Все дело в количественной оценке феномена. Не только 96%, но и 30% ДНК «мусорной» и «эгоистической» в процессе эволюции в геноме не удержится.

А сейчас перейдем к третьей главе. В начале ее нужно обсудить вопрос: нужен ли господь бог для синтеза первого гена или же, как сказал Лаплас Наполеону, можно обойтись без этой гипотезы?

Глава III.
Есть ли жизнь на Земле?

Оро:…Как сказал один шутник, по теории вероятностей мы все должны были быть мертвецами. Тем не менее, мы живы.

Чаргафф: Но мы все-таки умрем.

Мора: В том-то и беда.

Из дискуссии на Флоридской конференции по происхождению жизни

Там, где вечно дремлет тайна,
Есть нездешние поля.
Только гость я, гость случайный
На горах твоих, земля.

Сергей Есенин

В прошлой главе мы пришли к выводу, что так называемые структурные гены, кодирующие аминокислотные последовательности белков — это лишь, если угодно, корни слов, но не сами слова и тем более не осмысленные предложения. Тем самым вопрос о «лищней» ДНК в значительной мере снимается. Если же мы учтем, что в передаче информации по каналу с высоким уровнем шума код должен быть помехоустойчивым, становится ясной та непонятная щедрость природы, с которой она наделила ДНК наши клеточные ядра. Это не исключает возможности существования в геноме своего рода реликтовых последовательностей, не несущих в настоящее время определенной функции («гены на пенсии или в творческом отпуске»). Но доля их в геноме не может быть значительной, они не должны мешать генам активным, ибо довлеет дневи злоба его.

На уровне построения фенотипа (клеток, тканей, органов) также существуют структуры, для организма в данный период эволюции бесполезные (рудиментарные органы вроде зачаточных тазовых костей у китов и удавов, мышцы, двигающие ушной раковиной у человека, человеческий аппендикс и многое другое).

Аналогичная картина наблюдается и в мемофондах. Мы знаем лишние буквы в алфавите и слова в языках, рудименты старых технологий, обычаев и идеологий. Простой пример: раньше обшлага камзолов отворачивались и пристегивались на пуговицы. Теперь этого нет, но на рукавах каждого пиджака с упорством, достойным лучшего применения, пришивают по три пуговицы. Не столь уж безобидный рудимент, хотя бы для нашей страны. Сколько пиджаков в РФ, статистика не знает, как не знает и числа стульев. Допустим, что каждый гражданин мужского пола имеет хотя бы один пиджак (140 млн.). Это соответствует 840 млн. пуговиц, которые ничего не пристегивают. Без малого миллиард, а ведь это пример безобиднейшего реликта. Несравненно больше вреда «пуговицы на обшлагах» приносят не в технологиях, а в самых консервативных областях мемофондов — обычаях, обрядах, идеологиях. Но об этом у нас еще будет время поговорить.

Сейчас рассмотрим несколько иной аспект проблемы. Существуют ли какие-нибудь связи в последовательности нуклеотидов — в нуклеотидном «тексте»? И опять начнем с аналогии — рассмотрим лингвистические тексты.

Как вы помните, энтропия на символ русского текста около 5 бит, но при условии, что все буквы одинаково вероятны. Такой текст можно получить, если 32 буквы кириллицы (без различения букв е и ё, ь и ъ, как на телеграфе) написать на бумажках, а затем вытаскивать их из урны, записывать вытянутый символ и возвращать бумажку обратно. Сначала я хотел сделать это сам, но потом решил воспользоваться моделью Р. Л. Добрушина (его примеры цитируются в ряде книг). Вот какая фраза у него получилась:

сухерробьдщяыхвщиюайжтлфвнзагфоенвштцр хгбкучтжюряпчькйхрыс (1)

Как видите, получилось нечто такое, что нельзя и выговорить. Именно такой текст и содержит 5 бит/символ, он наиболее информативен, потому что вероятность появления каждого последующего знака определяется только случаем и всегда равна 1/32. Но мы-то знаем, что в русском тексте разные буквы встречаются с разной частотой. Чаще всего встречается буква «о» (частота 0,090.), но это только в письменной речи. В устной, в московском говоре, где безударное «о» выговаривается как «а» («с Масквы, с пасада, с калашнава ряда»), положение другое[4]. В

других языках в фаворитах ходят другие буквы. Вспомните «Золотого жука» Эдгара По — там герой уверенно принимает наиболее часто встречающийся в тексте знак за букву «е». На пергаменте был английский текст, но и в испанском и во французском языке, которыми также пользовались пираты Карибского моря, «е» — чаще всего встречающаяся буква.

Определить частоту встречаемости букв просто, нужно только учитывать характер текста. Буква «ф» в русскоязычных текстах относительно редка (частота 0,002, из согласных чаще всего встречаются «т» и «н») — за исключением математических (за счет таких слов как функция и дифференциал). Лучше использовать средние данные по различным источникам. Оказалось, что с учетом разной частоты встречаемости энтропия на символ уже 4,35 бит. Искусственный «текст» с этими поправками будет выглядеть по Добрушину примерно так:

еынт цияьа оерб однг ьуемлолйк збя енвтша (2)

Как видите, этого приближения явно недостаточно, чтобы случайно подобранная фраза зазвучала по-русски. Мы подходим к важному феномену: наличию связей, корреляций между символами в тексте. В самом деле, не каждая буква может занимать любое место. После пробела никогда не встретится мягкий знак, а «и» — редко, лишь в заимствованных словах (Йорк, йод). Система корреляций между символами оказывается разной у разных языков. Русский язык относится к индоевропейским, в них возможны сочетания нескольких согласных (взвод, встреча, бодрствовать) и закрытые, оканчивающиеся на согласный слоги. А в японском и полинезийском языках гласные и согласные строго чередуются, и закрытых слогов нет. Это хорошо обыграл Г. Мелвил в повести «Тайпи», где герой представляется друзьям-канакам самым простым английским именем Том. Оказалось, что произнести его они не в состоянии. Томи, Томо — пожалуйста.

Но и любая гласная не может появиться после любой согласной. «Я» после «г» в русском языке крайне редка (лишь в заимствованном слове «гяур»), только Марина Цветаева осмеливалась писать — *«рвя и жгя»*.

Добрушин учел корреляции между соседними буквами. Получилась следующая фраза:

умароно кач всванный рося ных ковкров недаре (3)

Энтропия на символ снижается до 3,52 бит, но фразу уже можно прочесть, не запинаясь. Но ведь корреляции касаются не только соседних букв, но и третьих и четвертых за выбранными. Если учтем частоту трехбуквенных сочетаний, будет фраза вроде:

покак пот дурноскака наконепио зне стволовил се твой обниль(4)

В ней уже встречаются вполне русские слова и части слов (энтропия 3,01 бит/символ). С учетом четырехбуквенных сочетаний получается фраза, которую, если ее быстро произнести, можно счесть за русскую:

весел вратьсяне сухом и непо и корко (5)

Ясно, что учет более дальних корреляций приведет к появлению чисто русских слов, в дальнейшем уже и не в бессмысленных комбинациях, а энтропия на символ будет снижаться. Расшифровка поврежденного или закодированного текста «по Паганелю» как раз и связана с учетом корреляций между символами.

А как обстоит дело с символами в нуклеотидной последовательности ДНК или в аминокислотной — белка? Этот вопрос занимал меня давно, еще тогда, когда не был прочтен ни один ген, а за расшифровку первого белка — инсулина Сэнгер получил свою первую Нобелевскую премию. Поэтому я старался каждую появившуюся в литературе последовательность оценить с этой точки зрения. И уже первые результаты смущали и заставляли задуматься.

Вероятность встречи в любом месте одного из четырех символов, слагающих последовательность гена, или одного из двадцати символов, слагающих белок, была пропорциональна только процентному содержанию этого символа в тексте и не зависела от соседних. То есть, генетический текст оказывался построенным согласно модели 2 Добрушина.

Гены — дети случая. С какой-то стороны это меня огорчило.

Я надеялся, что системы корреляций, паче чаяния они в нуклеотидных текстах окажутся, будут разными в разных геномах. А это принесло бы пользу новой отрасли систематики — геносистематике, развивающейся на наших глазах. Хороший пример из анализа лингвистических текстов. По-видимому, древнейшая или хотя бы одна из древнейших письменностей Европы — слоговое *письмо А* догреческого населения острова Крит — пока еще не расшифрована. Мы можем ее читать, но не понимаем языка. Однако мы знаем, что построен он был наподобие японского или полинезийского, в которых гласные и согласные строго чередуются. Греки-ахейцы, взявшие Трою, переняли это письмо и стали писать на нем по-гречески (*линейное письмо В*). Вряд ли это было удобно: название города Кносс читалось как Ко-но-со, имя богини любви Афродиты — А-по-ро-ти-та, медь (халкос) — ка-ко и так далее. Ведь греческий язык — индоевропейский, в нем согласные могут стоять рядом. В результате новая волна греков-дорийцев, затопившая Элладу, полностью это письмо забыла, и греки были неграмотными, пока не создали свой алфавит на основе финикийского слогового. Но мы теперь знаем, что предшественники греков, пеласги, индоевропейцами, скорее всего, не были. Есть, правда, и другие мнения на этот счет. Интереснейшие соображения о древних, тысячи лет назад отзвучавших языках и давным-давно сошедших с арены истории народах можно высказать, анализируя сочетания символов в *письме А*.

В случае с ДНК и белками этот перспективный путь для нас, похоже, закрыт. Аналогия между информацией языковой и нуклеотидной не идет до конца. В чем же причина? Рискну высказать спекуляцию, не настаивая на ее справедливости.

Попробуйте вслух прочитать фразу 2, по возможности быстрее, но чтобы было «понятно», чтобы произнесенное соответствовало написанному. Боюсь, что это вам не удастся. А ведь от верно произнесенного слова может зависеть многое, вплоть до жизни.

Поэтому любой язык, усваивая новые слова, стихийно перерабатывает их для лучшего, четкого выговаривания. Результатом этого процесса и является как бы сама собой возникающая связь между символами в тексте, учитываемая Добрушиным система корреляций, в каждом языке своя. Человек, говоря на чужом языке, не усвоенном с раннего детства, лишь с большим трудом избавляется в устной речи от акцента. Ведь акцент — не что иное, как перенесение привычных правил произнесения фонем и их сочетаний в другой язык, для того не приспособленный. Каждый может вспомнить примеры из своей

практики. В частности, я с великим трудом привык к московскому говору — на моей родине, на Урале, не «акают», не произносят безударное «о» как «а».

Иное дело с текстами на языке ДНК. Фермент РНК-полимераза, синтезируя на матрице ДНК предшественник информационной рибонуклеиновой кислоты, «произносит» любые сочетания символов. То же можно сказать и о синтезирующей белок системе клетки рибосоме. В результате и текст ДНК, и аминокислотные тексты белков хранят до сих пор черты стохастического, случайного возникновения. Но и здесь есть исключения.

О. Б. Птицын, решая эту задачу, находился в лучших условиях, чем я — у него уже был в распоряжении приличный банк «прочтенных» аминокислотных последовательностей и ЭВМ. И он пришел к четкому выводу: белки — это стохастические (т. е. сконструированные как фраза 2) тексты, лишь впоследствии отредактированные отбором.

Как происходит это редактирование? Возьмем хотя бы ген глобина — белковой части всем известного гемоглобина. В нем, конечно, происходят мутации, приводящие к заменам аминокислотных остатков в конечном продукте. Некоторые из них «портят» белок, он уже не связывает кислород. Носители таких генов нежизнеспособны. Строгий редактор — отбор беспощадно вычеркивает их.

Другие замены почти не нарушают функции гемоглобина. Но поскольку они и не полезны, в популяциях они не распространяются. Генетики их называют «семейными», ибо их можно найти в семьях, образованных потомками предка-мутанта.

Но есть и другие мутации, которые распространяются в популяциях, как степной пожар. Если в том же глобине □-цепи гемоглобина человека в шестом положении остаток глутаминовой кислоты заменится на другой — нейтральный или щелочной — в тропических и субтропических зонах Земли эта мутация будет распространяться. И это невзирая на то, что человек, унаследовавший мутантный ген от обоих родителей, как правило, страдает анемией (мутантный гемоглобин легко выпадает в осадок и поэтому плохо переносит кислород). Оказалось, что такие гемоглобины (их называют тропическими или аномальными) ядовиты для малярийного плазмодия. А в теплом и влажном климате малярия — мощный фактор отбора в человеческих популяциях. Так отбор перестраивает белки, и через них — отбирает нужные гены.

Но этот пример (а можно привести немало других) касается белка — химического соединения, участвующего в реакциях,

важных для организма и подверженных отбору. Отбор редактирует текст гена в данном случае не прямо, а опосредованно. А может ли он непосредственно влиять на ген, например, повышая точность считывания информации?

Раньше на этот вопрос отвечали отрицательно. Но сейчас появились другие данные, о которых надо рассказать. Для этого вспомним структуру ДНК-текста. Спираль ДНК двойная, она состоит из двух комплементарных друг другу цепей и слагается четырьмя символами: двумя пуринами — аденином и гуанином (А и Г) и двумя пиримидинами — цитозином и тимином (Ц и Т). Пурин в одной цепи всегда присоединяется водородными связями к пиримидину, в другой — А к Т и Г к Ц. Поэтому в двойной спирали сумма всех пуринов равна сумме всех пиримидинов.

А как распределены пурины и пиримидины в одиночной цепи? Если бы распределение было стохастическим, то с частотой 0.5 наугад выбранный нуклеотид оказывался бы, например, аденином или гуанозином. Это тип фразы 2.

Сейчас, когда прочтены уже тысячи генов, проверить это предположение элементарно. Но оно было проверено задолго до того. Химики разработали методы разрушения в ДНК только пуринов или только пиримидинов.

Пурины, например, разрушаются, если мы обработаем ДНК дифениламином в муравьиной кислоте. В результате ген распадается на смесь блоков — кусочков, в которых пиримидины (Ц и Т) повторяются 1,2,3,4 и более раз. И если бы распределение было случайным, моно- и динуклеотиды преобладали бы. На практике применяют так называемый коэффициент сблоченности β — отношение суммы длинных блоков (4 нуклеотида и выше) к сумме коротких (три нуклеотида и ниже).

Мой коллега по лаборатории им. А. Н. Белозерского, А. Л. Мазин определил коэффициент β для ДНК разных организмов — от бактерий до млекопитающих. Получилась довольно четкая картина — в ряду от бактерий до человека β возрастает от 4 до 6 и выше. Сблоченность ДНК с усложнением организации неуклонно растет. А это значит, что снижается ее информационная емкость, как при возникновении корреляций между буквами в тексте. Генетический код становится все более и более неэкономичным. Возникает вопрос: почему это происходит?

Намек на ответ содержится в других работах А. Л. Мазина. Вспомним, что в большинстве известных нам случаев информационная РНК синтезируется только на одной из нитей или цепей ДНК, которую называют смысловой. Вторая, комплементарная нить — антисмысловая. Пуриновому блоку в смысловой цепи соответствует пиримидиновый в антисмысловой

(и наоборот).

Исследования показали, что пиримидиновые, состоящие из Ц и Т, блоки имеют тенденцию скапливаться в смысловой цепи. Возникает асимметрия цепей ДНК. Значит, информационная РНК, на которой синтезируется белок, обогащается пуринами (А и Г). Конечно, она не может на 100% состоять из пуринов, ведь тогда в ней нельзя закодировать такие аминокислоты, как фенилаланин, серин, лейцин. Но тенденция явно имеется.

Для объяснения ее А. Л. Мазин вспомнил о старой моей работе с Л. М. Галимовой, в которой мы изучали синтез белков у тутового шелкопряда. Уже первые исследователи передачи генетической информации с гена на белок подметили, что этот процесс (трансляция) подвержен сильным помехам. Рибосомы могут считывать кодоны в матричной, информационной РНК неправильно, и в белок включаются не те аминокислоты. Этот процесс (*мисридинг*) усиливается при повышенной температуре, подкислении среды, высокой концентрации магния и при действии антибиотика стрептомицина. Собственно, антибактериальный эффект стрептомицина тем и объясняется, что рибосомы стрептококков начинают «врать» при тех концентрациях антибиотика, при которых рибосомы человека остаются еще устойчивыми.

Мы кормили гусеницу шелкопряда листьями шелковицы, смоченными раствором стрептомицина в лошадиной концентрации. Гусеницы ели, линяли, исправно завивали коконы. А кокон состоит всего из двух белков — фиброина и серицина — клейкого вещества, склеивающего фиброиновые нити.

Серицин легко перевести в раствор кипячением — так мы без особых трудов получаем чистейший белок, без примеси других. Гидролизат его можно уже пустить в аминокислотный анализатор. Оказалось, что стрептомицин достоверно изменял состав белка: одних аминокислот становилось больше, других меньше[5]. Первые мы назвали плюс-, вторые минус-аминокислотами.

Оказалось, что эти категории не случайны. Плюс-аминокислоты в матричной (информационной) РНК кодируются в основном пуринами (А и Г), а минус — пиримидинами (Ц и У-уридином, неметилированным тимином, который заменяет Т в РНК). Пурины и пиримидины тоже неоднородны по точности считывания. С учетом литературных данных У в результате неверного прочтения мог быть прочтен рибосомой как Ц, Г, А; Ц — как Г и А; Г- как А, и лишь аденин обычно считывался правильно.

Естественно было связать повышенную помехоустойчивость с термодинамической устойчивостью символа. Последняя величина измеряется энергией резонанса — той энергией, которая потребна для изменения структуры вещества. В ряду У, Ц, Г, А эта величина соответственно 1.92, 2.22, 3.84, 3.89 (ккал/моль). Аденин наиболее устойчив, именно потому он легко полимеризуется в опытах (и, вероятно, на первозданной Земле) из цианистого водорода и потому входит в состав АТФ — универсального аккумулятора энергии в биологических системах.

А. Л. Мазин предположил, что в ходе эволюции вместе с усложнением структур шло параллельное повышение помехоустойчивости информационного канала ген-белок. А это означало обогащение мРНК пуринами (и смысловой цепи ДНК — пиримидинами). Отбор мутаций, следовательно, идет и на уровне гена — такой вывод он сделал, проанализировав на ЭВМ 64 белка — цитохрома С.

Справедлива ли эта гипотеза? Мне, конечно, приятно, что Александр Львович вспомнил через 17 лет о работе, которую я и сам за другими делами давно забыл. Но, увы, если это правда, то не вся правда. Вспомним, что у высших организмов белок кодирует лишь ничтожная доля ДНК — а тот же Мазин показал, что наиболее сблочены, наиболее отличаются от стохастических как раз те части генома, кои сейчас именуют лишними, ненужными и эгоистичными.

Могу лишь предположить, что помехоустойчивость этих текстов не менее, если не более важна для организма. Некодирующие белок последовательности также должны быть прочтены — на уровне ДНК или РНК — узнающими их структурами, скорее всего, регуляторными белками.

А в результате мы опять приходим к выводу об аналогии между лингвистической и генетической информациями. И в том и в другом случае помехоустойчивость каналов возрастает ценой снижения информационной значимости сигнала. Принцип одинаков, хотя в одном случае информацию считывает рибосома, а в другом — человеческая гортань. Гены просто сохранили больше следов своего случайного, стохастического возникновения.

На этом можно бы и кончить главу: определением гена, как стохастической, возникшей в результате случайного перебора последовательности, лишь в незначительной степени отредактированной отбором. Но мог ли ген того же глобина или цитохрома С возникнуть случайно? И мы приходим к новому «проклятому вопросу» современной биологии, который называется:

Парадокс миллиона обезьян. Вообще-то эта проблема отнюдь не нова. Философы еще в древности задавались вопросом: возможно ли возникновение достаточно сложной структуры, описываемой большим объемом информации, в результате случайных, стохастических процессов? И все давали отрицательный ответ. Еще Цицерон полагал, что из случайно брошенных знаков алфавита не могут сложиться «Анналы» Энния. Через полторы тысячи лет ему вторит Жан-Жак Руссо: *«Если мне скажут, что случайно рассыпавшийся типографский шрифт сложился в „Энеиду“, я и шагу не сделаю, чтобы проверить эту ложь».*

Теперь эту проблему называют «парадоксом миллиона обезьян». За сколько лет миллион обезьян, посаженных за пишущие машинки, напечатают полное собрание сочинений Шекспира, или хотя бы одного «Гамлета»?

«Обезьяний парадокс» переходит из одного философского трактата в другой. Странно, что никто не задался вопросом: может ли миллион людей, никогда о Шекспире не слыхавших, напечатать «Гамлета»? Отсюда недолго дойти до вопроса: а мог ли «Гамлета» написать сам Шекспир, если даже миллиону людей это не под силу? И применима ли вообще теория вероятности к этой категории явлений?

Как видите, начав с вопроса о корреляциях между знаками в нуклеотидных последовательностях, мы пришли к проблеме философской, если хотите, гносеологической, затрагивающей коренные тайны мироздания.

Еще в 1936 году Н. К. Кольцов писал, что вероятность случайного возникновения полипептида из 17 аминокислотных остатков (гептакайдекапептида) равна одной триллионной, и сделал из этого совершенно правильный вывод — гены синтезируются не заново, а матричным путем. Но как возникла первая матрица? Как говорила фонвизинская госпожа Простакова: *«Один учился, другой учился — да первоет портной у кого учился?»*

Хватает ли времени на возникновение первого гена — протогена — случайным путем, стохастическим перебором нуклеотидов? Напомню, что солнечная система, Солнце со всеми планетами, сформировалась по самым последним оценкам 4,6 млрд. лет назад (плюс-минус 0,1 млрд.). Первые следы жизни на Земле имеют возраст более 3,8 млрд. лет. Добавлю и то, что значительный срок наша планета явно не годилась для возникновения жизни.

Подобные соображения время от времени воскрешают гипотезу о внеземном, космическом происхождении жизни. Эта гипотеза (панспермии) была еще в прошлом веке выдвинута

Сванте Аррениусом, и суть ее можно выразить так: в вечной и бесконечной Вселенной жизнь так же вечна и бесконечна. Споры, зародыши жизни, микроорганизмы могут покинуть родную планету и давлением света транспортироваться бог весть куда — от планеты к планете, от звезды к звезде. У нас к идее панспермии склонялся В. И. Вернадский.

Мне эта гипотеза не очень нравится. Пусть во Вселенной, хотя бы в одной нашей Галактике, миллионы планет. Исчезающе малую вероятность возникновения жизни (т. е. протогена) на одной из них нужно умножить на столь же малую величину — вероятность благополучного межзвездного перелета. Это только видимость решения проблемы. Кроме того, похоже, что и Вселенной не хватает для возникновения жизни. Манфред Эйген подсчитал, что вероятность возникновения одного лишь белка — цитохрома С, состоящего примерно из ста аминокислотных остатков, равна 10-130, а во всей Вселенной хватает места лишь для 1074 молекул (при условии, что все планеты, звезды и галактики состоят из вариантов молекул цитохрома).

Как мы видим, положение все более драматизируется. Получается, что все мы живем вопреки теории вероятности, непрописанными во Вселенной. Нас не должно быть вообще!

Выход из сложившегося положения попытался найти Френсис Крик, о котором я уже писал по другому поводу в предыдущей главе. В 1982 году он издал книгу «Жизнь, как она есть, ее происхождение и природа». К сожалению, на русский язык она не переведена, хотя я горячо рекомендовал ее для этого. И не потому, что разделяю его фантастическую гипотезу — как раз наоборот. По иронии судьбы я уже второй раз в этих очерках дискутирую с человеком — живым классиком молекулярной биологии, перед которым всегда преклонялся и преклоняюсь. Но *«Amicus Plato sed magis amici veritas» — «Платон мне друг, но истина дороже».* О чем же говорится в этой книге?

Сначала Крик драматизирует положение. Он исходит из того, что первичный полипептид, кодируемый протогеном, имел 200 аминокислотных остатков, а не 100, как у Эйгена. Тогда вероятность его возникновения 10-260 (это десятичная дробь с двумястами шестьюдесятью нулями после запятой). Далее, он напоминает, что и Вселенная, в том виде, в каком она есть, не вечна. Большинство космологов сейчас считает, что она продукт «Big Band» — «Большого взрыва», разметавшего все планеты, звезды и галактики, прежде сжатые в предельно малом (атомных размеров!) объеме.

Когда произошел Большой взрыв? Прежние расчеты по скорости разбегания галактик и энергии реликтового

радиоизлучения давали неточные и завышенные величины возраста Вселенной. Теперь он уточнен — по соотношению в звездах радиоактивного тория (период полураспада 14 млрд. лет) и стабильного неодима. Оказалось, что возраст самых старых звезд — не выше 11 млрд. лет. Значит, для возникновения жизни не хватает не только пространства, но и времени. Ведь Вселенная лишь вдвое старше солнечной системы.

Крик тоже склоняется к неземному происхождению жизни. Но он физик и потому понимает слабости гипотезы панспермии. Конечно, давление солнечного света может придать споре микроорганизма третью космическую скорость — но оно же будет отталкивать от звезды «чужие» микрочастицы. За миллионолетние странствования гены неизбежно будут разрушены космическим излучением. Разумеется, споры могут быть экранированы от него, например, в метеоритах — но метеорит из-за большой массы не получит нужного ускорения давлением света. Да и вероятность того, что спора, ускоренная наугад, долетит до звезды с подходящими планетами, чересчур уж мала. Вероятность того, что выстрел вслепую со стратосферного лайнера поразит, например, белку в глаз, намного выше. Конечно, за большой промежуток времени может произойти и маловероятное событие. Но времени-то у нас как раз и не хватает.

И Крик выдвигает гипотезу направленной, управляемой панспермии.

Предположим, пишет он, на какой-то из многочисленных планет во Вселенной миллиарды лет назад возникла некая сверхцивилизация. Ее носители, убедившись в том, что жизнь штука редкая, возможно, уникальная, захотят распространить ее как можно шире (это утверждение мне не кажется обоснованным). С этой целью сверхцивилизация начинает рассылать по всем направлениям в свою и чужие галактики автоматические ракетные корабли. Двигаясь со скоростью хотя бы 0,0015% скорости света (3 мили в секунду) они в среднем за 1000 лет достигнут ближайших систем с планетами и рассеют в атмосфере последних пакеты с «пассажирами».

Такими пассажирами могут быть лишь высушенные в замороженном состоянии микроорганизмы. Они перенесут сверхдлительный космический перелет и устойчивы к излучениям. Добавлю, что они устойчивы и к огромным ускорениям, так что эти гипотетические корабли могут набирать скорость самым экономичным путем, взрывным ускорением в сотни *g*. Если условия на поверхности новой планеты окажутся для них пригодными, начнется взрывное размножение — и

последующая эволюция, вплоть до появления человека.

А что значит — пригодные условия? Мы знаем микроорганизмы, живущие без кислорода, в горячей серной кислоте, использующие в качестве источника энергии серу и восстановленные металлы. Многие земные бактерии, похоже, отлично выживут на Марсе и хотя бы на полюсах Венеры. И Крик вспоминает старый спор между физиками-атомниками Энрико Ферми и Лео Сциллардом (он сам ушел из атомной физики после бомбы). Сциллард был горячим сторонником сверхцивилизаций, рассеянных по космосу, и скептик Ферми спросил его: «Если их много, почему мы их не видим и не слышим? Где же они?» И Крик полагает, что нашел ответ. Они — это мы, вернее, мы — их сверхотдаленные потомки. В будущем мы, возможно, подхватим эту эстафету (Крик подсчитывает, что даже современные наши космические корабли долетят до туманности Андромеды за 4 млрд. лет, когда от нашей цивилизации не останется даже праха).

Любопытно, что у Крика есть предшественники. Он сам упоминает, что сходные мысли высказывал Дж. Б. С. Холдейн, удивительный человек с разностороннейшими знаниями — математик, физиолог, биохимик, генетик — и поэт в душе. В свою очередь могу назвать по крайней мере еще одного. Советский инженер и фантаст Г. Бабат выдвинул эту идею в послевоенные годы в неоконченном фантастическом романе «Потерянная Вселенная» (естественно, Крик не знал об этом).

Вот вкратце основная идея написанной с блеском и эрудицией книги Френсиса Крика. Недаром редактор ее Карл Саган, ведущий американский космобиолог, назвал книгу *«стимулирующей и провоцирующей, развлекающей и восхищающей».* Да только обоснована ли она?

Скажу прямо, доказательства космического происхождения жизни, выдвигаемые Криком и его многолетним сотрудником и соавтором Лесли Орджелом, немногочисленны и неубедительны. Первое из них — повышенное по сравнению со средней концентрацией для Земли содержание молибдена в живых организмах. Молибден входит в состав ряда ферментов, например, нитрогеназы микроорганизмов, связывающих атмосферный азот. Это ключевой фермент, делающий жизнь на Земле возможной. И Крик с Орджелом делают вывод: мы все эмигранты с богатой молибденом планеты. Но Морисабуро Эгами показал, что относительные единицы количества (кларки) для живой природы и морской воды по молибдену совпадают. Так что молибденовый след ведет не в космос, а в земной океан.

Второй довод Крика — внезапное возникновение

микроорганизмов 3,8 млрд. лет назад. Увы, этот довод в равной мере годится для всех форм жизни, включая человека. Внезапность — артефакт, обусловленный спецификой палеонтологической летописи. Она всегда констатирует широкое распространение формы («торжествующую обыденность»), а не процесс ее становления. Принцип телевидения и первые его успешные попытки известны с 20-х годов, но археологи будущего найдут первые обломки телевизоров, скорее всего, в слоях 50-х и ими датируют его внезапное возникновение. А на деле никакой внезапности не было.

Но главное не в этом. Самое досадное, что красивая гипотеза Крика не помогает. Даже призвав на помощь все планеты Вселенной, мы лишь в ничтожной мере повысим сверх-крохотную вероятность возникновения протогена. Из исчезающе малой дроби (10-260) срежется каких-нибудь пятьдесят нулей после запятой — ни времени, ни места по-прежнему не хватает. Так что по известному изречению Н. Бора, эта гипотеза недостаточно безумна, чтобы быть верной.

Пожалуй, до конца пошел в этом вопросе лишь астроном и математик Налин Чандра Викрамасингх (Шри-Ланка). Его исходные положения те же: жизнь не может возникнуть случайным путем. Для жизни нужно возникновение около 2 тыс. ферментов — число пробных комбинаций 10-40000 (сорок тысяч нулей после запятой!). Вывод Викрамасингха: *«Скорее ураган, проносящийся по кладбищу старых самолетов, соберет новехонький суперлайнер из кусков лома, чем в результате случайных процессов возникнет из своих компонентов жизнь»*.[6]

Но ведь происхождение жизни как-то надо объяснить? И Викрамасингх объясняет (или полагает, что объясняет, что не одно и то же): *«Свои собственные философские предпочтения я отдаю вечной и безграничной Вселенной, в которой каким-то естественным путем возник творец жизни — разум, значительно превосходящий наш»*.

Дальше уже некуда. К чему мы пришли, начав со статистических подсчетов, в принципе не отличающихся от тех, которые расхолаживают мечтателей, желающих сорвать банк в Монте-Карло? Да к тому, что было сказано гораздо лучше и гораздо раньше: *«Земля же была безвидна и пуста и тьма над бездною и Дух Божий носился над водою»*[7]. Естественный путь возникновения творца жизни — не что иное, как стыдливая оговорка. Викрамасингх вспоминает, что он все-таки естествоиспытатель.

У нас есть выбор. Можно, конечно, согласиться с астрофизиком из Шри-Ланки и на этом покончить с разгадкой

происхождения жизни. А можно рассмотреть такую проблему: все статистические выкладки, приводящие к чудовищному количеству вариантов и, следовательно, к ничтожно малым вероятностям спонтанного возникновения протогена, верны. Вот только применимы ли они?

Полагаю, все читатели согласятся с тем, что повторить создание «Гамлета» не под силу не только миллиону обезьян, но и миллиону людей с пишущими машинками. Но — последний риторический вопрос: мог ли существовать театр, если бы «Гамлет» не был написан? Ведь в бурный елизаветинский век Шекспир мог бы попасть не в «Глобус», а скажем, в экипаж к Фрэнсису Дрейку и сложить свою буйную голову в кругосветке «Золотой лани». Ясно, что мы имели бы театр без шекспировских пьес и не переживали бы по поводу их отсутствия. Ибо нельзя скорбеть по тому, что не появилось на свет.

И М. Эйген со своим примером — цитохромом С, и Ф. Крик с гипотетическим ферментом, и Н. Ч. Викрамасингх в расчетах исходят из того, что имеется только один пригодный вариант цитохрома С, по единственному варианту каждого фермента и т. д. То есть, не будь «Гамлета», и театра не было бы. А ведь это не так; если вариантов множество, практически бесконечность, то и пригодных для работы, например, в качестве фермента, также должно быть практически бесконечное число.

Это утверждение допускает экспериментальную проверку. Если мы правы, то полипептиды, в которых аминокислотные остатки чередуются случайным образом (стохастические полимеры) должны проявлять биологическую активность. Как только стохастический полимер смог проявить ферментную активность при синтезе своей же матрицы — протогена, возникновение жизни можно было бы считать завершенным. Пусть эти полимеры работали хуже настоящих белков — не так эффективно и специфично. Но на то и отбор, чтобы корректировать их последовательности, совершенствуя функции — по О. Б. Птицыну. Вот хороший пример: есть целая группа ферментов — сериновые протеазы, расщепляющие белки по амидным связям. Установлено, что активность их определяется наличием в последовательности тройки: серин-гистидин-аспартат, только тогда белок ускоряет расщепление (реакцию протеолиза) в 10 млрд. раз против контроля.

Если же мы будем убирать из последовательности сначала серин, потом гистидин, потом аспартат, активность соответственно будет снижаться в 2x106, 2x106 и 3x104 раз. Но и без магической тройки она не исчезнет, не будет нулевой.

Отсюда следует, что в достаточно большой и разнообразной

совокупности случайно синтезированных полимеров можно найти такие, которые смогут выполнять функцию любого белка, например фермента, такие опыты уже были поставлены. Американский исследователь Х. С. Фокс ставил простые эксперименты: он смешивал сухие аминокислоты и нагревал их до 200°; в результате получались полипептиды — цепочки из аминокислотных остатков, практически неотличимые от маленьких белков. Мономеры в этих полимерах были распределены совершенно случайно, и в этой смеси вряд ли можно было найти две одинаковые молекулы. По-видимому, такие соединения — протеиноиды — легко возникали на начальном этапе существования Земли, например, на склонах вулканов.

Фокс и его сотрудник Л. Бахадур проверили, может ли смесь протеиноидов работать, как фермент. Оказалось, что она проявляла активность, имитирующую ферменты пирофосфатазу, каталазу, АТФазу. Другие исследователи, многократно проверив опыты Фокса, пришли к выводу, что она может имитировать практически любой фермент. Возможно, протеиноиды катализировали синтез первых генов — матриц, на которых синтезировались уже настоящие белки — но тоже со случайными последовательностями. Как только среди них нашлась одна, способная ускорить синтез и репликацию своей матрицы — нуклеиновой кислоты, труднейшая проблема происхождения жизни была решена.

Для этого не требовалось сверхастрономического числа Вселенных и вмешательства сверхразума. В опытах Фокса участвовало не 10 230 молекул, а существенно меньше 1023, одного моля, как говорят химики. Для возникновения жизни вполне хватило бы случайных химических реакций в достаточно большой грязной луже, вроде той, которую воспел Гоголь в «Миргороде».

Многие из читателей предпочли бы быть потомками божественного разума или же продуктом деятельности, отходом сверхцивилизации. Подобное заключение их, конечно, покоробит. Поэтому в утешение подскажу единственный способ опровергнуть меня. Надо посетить несколько планет земного типа из других звездных систем. Вполне возможно обнаружить на некоторых из них, хотя бы на одной, жизнь. Вот если тамошние гены и кодируемые ими белки будут гомологичны генам и белкам земных организмов, я приму идею Творца.

Пока мне это не грозит: мы знаем, что и на Земле один и тот же ген не возникал дважды, как не было написано дважды любое литературное произведение, тот же «Гамлет». Только Остап

Бендер удосужился сочинить заново стихотворение Пушкина, но это, как вы понимаете, не может быть доказательством.

Так что же. Бога нет? Мы ни в чем не знаем меры, и сейчас за атеизм приходится чуть ли не извиняться. Но ничего не поделаешь: идея Бога, идеи любых религий реальны лишь как составляющие мемофондов той или иной цивилизации. В каком-то смысле человек могущественнее Бога — он может обойтись без него, а не наоборот.

И лучше всего о взаимоотношениях естествоиспытателя и Творца сказал Б. Брехт устами Галилея в одноименной пьесе. Ученик Галилея, рассмотрев гелиоцентрическую модель солнечной системы, задает недоуменный вопрос: *«Но в твоей системе нет Бога. Где же Бог?»*

Помню чеканный ответ Галилея — Высоцкого: **«В нас — или нигде!»**

Публикуется при любезном содействии журнала «Человек».

Октябрь 2004

notes

Примечания

Медников Б. М. Аксиомы биологии. М., 1982.

Докинз Р. Эгоистичный ген. М., 1993.

3

Фирсов Л. А. Довербальный язык обезьян // ЖЭБ и Ф. 1983. Т. XIX. № 4.

4

Добавлю, что 32 символа недостаточны для полного понимания текста, нужны еще и знаки препинания, кроме пробела. Напомню хрестоматийный пример: *«Казнить нельзя помиловать».* На телеграфе используют сокращения *зпт, тчк.*

5

Медников Б. М., Галимова Я. М., Белозерский А. Н. О закономерностях ошибок трансляций *in vivo* и *in vitro* // Биохимия. 1970. Т. 35. Вып. 2.

Цит. по: Размышления астронома о биологии // Курьер ЮНЕСКО. 1982. №6. С. 36.

7

Кн. Бытия, 1, 2